

Jere Aalto

# Tievalaistuksen maadoituksen ja ylijännitesuojauksen riittävyys nykyisten ohjeiden mukaan toteutettuna

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

14.3.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Jere Aalto Tievalaistuksen maadoituksen ja ylijännitesuojauksen riittävyys nykyisten ohjeiden mukaan toteutettuna 32 sivua + 1 liitettä 14.3.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Tapio Kallasjoki Toimitusjohtaja Mika Saari
<p>Työssä perehdyttiin tievalaistusverkon ja tievalaisimien suojaukseen maadoituksen ja ylijännitesuojauksen osalta. Tavoitteena oli tutkia, ovatko nämä suojausmenetelmät nykyisten ohjeiden mukaan suunniteltuna ja toteutettuna tarpeeksi tehokkaita suojamaan katuvalaistusverkon laitteita, kun led-teknologia tuo tievalaisimiin helposti rikkoutuvan elektronikan.</p> <p>Ensin perehdyttiin maadoituksen ja ylijännitesuojauksen teoriaan sekä tievalaistusverkon suunnitteluohjeisiin. Lisäksi tehtiin mittauksia olemassa olevien tievalaistusverkon maadoitusten elektrodeille erilaisissa ympäristöissä. Näiden tietojen pohjalta tarkasteltiin suojauksen riittävyyttä eri olosuhteissa. Lopuksi tehtiin suunnittelijoille tarkoitettu ohjeistus siitä, mitä seikkoja ottaa huomioon, kun suunnittelee tievalaistusverkon suojauksia.</p> <p>Maastossa tehtiin mittauksia tierakenteiden resistiivisyydestä sekä valaistusverkkojen elektrodien maadoitusvastuksista. Mittauspaikat valittiin siten, että saatiin tuloksia mahdollisimman kattavasti erilaisista asennusympäristöistä.</p> <p>Tuloksista on havaittavissa, että ympäristö ja elektrodin sijainti tierakenteessa vaikuttavat maadoitusimpedanssiarvoihin. Toinen merkittävä asia, joka huomattiin mittauksissa, on että tietyissä tilanteissa maadoitusimpedanssia ei voida mitata valmiista asennuksesta, ja näin ollen elektrodien toimivuuden todentamiseksi on erityisen tärkeää tehdä mittaukset elektrodeille jo rakennusvaiheessa.</p> <p>Opinnäytetyön tulosten perusteella todettiin, että asiakkaan tulisi tarkentaa suunnitteluohjeita maadoituksen asentamiseen liittyen. Ylijännitesuojauksen osalta todettiin, ettei tällä hetkellä kyetä merkittävästi parantamaan suojautta. Kuitenkin näyttää siltä, että tiedonsiirto katuvalaistusverkossa yleistyy tulevaisuudessa. Tiedonsiirto tuo kehitysmahdollisuuksia ylijännitesuojausjärjestelmien parantamiseen.</p>	
Avainsanat	maadoitus, ylijännitesuojaus, valaistus, tievalaistus

Author Title	Jere Aalto Earthing and overvoltage protection of road lighting grid
Number of Pages Date	32 pages + 1 appendix 14 March 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical engineering
Specialisation option	Electric power engineering
Instructors	Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer Mika Saari, Chief Executive Officer (CEO)
<p>This study familiarizes with the techniques of earthing and overvoltage protection of road lighting, electrical grid and luminaires. The purpose was to determine whether these protection systems, if designed and built according to existing manuals, are efficient enough to protect devices connected to the electrical grid, especially now as LED technology brings electronics to road luminaires.</p> <p>To begin with, relevant theories of earthing and over voltage protection were investigated and manuals of planning electrical grid for road luminaires were familiarized with. Furthermore, features from existing earthing electrodes in different circumstances were measured. Based on this information a revised focus into sufficiency of these protection systems in different circumstances was taken. A guide was produced for engineers on what considerations to make, when planning protection into electrical grid for road luminaires.</p> <p>In field measurements about resistivity of road structure and resistance of earthing electrodes, locations were selected so that different kinds of surrounding environments and road structures are covered as well as possible.</p> <p>Results of these measurements show that surrounding materials and location of electrode in road structure has a significant impact on resistance of earthing. Another significant element that was noticed is that in some cases earthing resistance can't be measured when road structure is completed. In these cases, it is extraordinarily important to be assured that electrodes are functional when installed.</p> <p>Based on the results of this study it was found that as concern addressing earthing and installation of earthing electrodes, the clients' designing guide should be updated. As concerns over voltage protection, it was found that we can't significantly improve the implementations at this moment. It becomes likely that data transfer systems will become more common in future, as data transfer brings opportunities to improve over voltage protection systems.</p>	
Keywords	earthing, over voltage protection, lighting, street lighting

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Lähtökohdat ulkovalaistusverkon maadoitukseen ja ylijännitesuojaukseen	2
2.1	Maadoitus	2
2.2	Ylijännite	9
2.3	Tierakenne	13
3	Maaperän resistiivisyys- ja maadoitusresistanssimittaukset	16
3.1	Olemassa olevan maadoituksen vastuksen mitta	16
3.2	Maaperän resistiivisyysmittaus	18
4	Mittausten suorittaminen ja mittaustulosten analysointi	21
5	Valaistusverkon suunnittelussa huomioitavia tekijöitä	27
6	Yhteenveto	29
	Lähteet	32
	Liitteet	
	Liite 1. Mittauspöytäkirja	32

## 1 Johdanto

Työn tarkoituksena on tutkia, onko tievalaistusverkon maadoitus ja ylijännitesuojaus riittäviä nykyisten ohjeiden mukaan suunniteltuna ja toteutettuna. Aihe on nyt ajankohtainen, kun siirrytään perinteisistä purkauslampuista elektroniikkaa sisältäviin valaisimiin. Opinnäytetyö on toteutettu tilausprojektina Liikennevirastolle. Työssä perehdytään maadoituksen ja ylijännitesuojauksen teoriaan sekä näiden toteuttamiseksi ulkovalaistusverkossa annettuihin ohjeisiin. Lisäksi toteutettiin sarja mittauksia, joiden tarkoituksena oli saada käsitys maadoituselektrodien toimimisesta eri ympäristöissä. Näiden tietojen pohjalta mietittiin, onko nykyisten ohjeiden mukaan rakennettu maadoitusverkko ja ylijännitesuojaus riittävä sellaisenaan vai tulisiko ohjetta päivittää vastaamaan uusia vaatimuksia. Työssä käytetty ja sitä tukeva aineisto koostuu kirjallisuuden, tutkielmien ja määräysten lisäksi myös käytännön kokemukseen perustuvasta tiedosta, jota saatiin LiCon-AT:n henkilökunnalta sekä sen yhteistyökumppaneilta.

Työssä tehdyissä mittauksissa mitattiin tierakenteen maaperän resistiivisyys ja elektrodin maadoitusimpedanssi erilaisissa ympäristöissä. Tievalaistusverkkoa rakennettaessa maadoituselektrodit asennetaan useimmiten kaapelin kanssa samaan kaivuuseen ja näin ollen se jää tierakenteeseen. Mittausten tarkoitus oli antaa tietoa siitä, miten ympäristö ja elektrodin sijainti tierakenteessa vaikuttavat maadoituksen toimivuuteen.

Työssä alussa käsitellään maadoitukseen ja ylijännitesuojaukseen liittyvää teoriaa, jonka jälkeen tarkastellaan näitä asioita tievalaistusverkon näkökulmasta. Luvussa 4 perehdytään tarkemmin tehtyihin mittauksiin ja näiden tuloksiin. Työn lopussa on vielä yhteenveto työn tuloksista sekä tievalaistusverkon suunnittelijoille tarkoitettu osuus, jonka tavoite on kiinnittää suunnittelijan huomio maadoituksen kannalta merkittäviin seikkoihin ja saada suunnittelija pohtimaan tarkemmin, tuleeko maadoituksesta riittävä, jos se tehdään ohjeiden mukaan vai onko kyseisessä kohteessa tarpeen vahvistaa maadoitusverkkoa.

## 2 Lähtökohdat ulkovalaistusverkon maadoitukseen ja ylijännitesuojaukseen

Tässä luvussa perehdytään työn aiheeseen liittyvään teoriaan sekä tarkastellaan, miten tätä teoriaa sovelletaan ulkovalaistusverkon asennuksiin. Luvun lopussa perehdytään vielä tierakenteeseen. Tierakenne määrittää useimmissa tapauksissa maadoituselektrodin välittömässä läheisyydessä olevan maa-aineen ja näin ollen näyttelee merkittävää osaa tässä työssä.

### 2.1 Maadoitus

Maadoituksen tarkoitus on varmistaa käyttö- ja työturvallisuus. Maadoitusjärjestelmän on toimittava kaikissa olosuhteissa ja varmistettava ihmisten turvallisuus paikoissa, joissa heillä on oikeus liikkua. /2, s.70./

Maadoitus on järjestelmä, jossa maadoituselektrodi muodostaa yhteyden maan potentiaaliin. Tämän lisäksi järjestelmä muodostuu erinäisestä määrästä maadoitus-, potentiaalintasausjohtimia, joiden avulla kaikki kosketeltavissa olevat johtavat osat kytketään potentiaalintasauskiskoon. Tällöin kaikki maadoitettavat osat ovat samassa potentiaalissa ja yhteydessä maahan.

Maadoituksen tarkoitus on tehdä sähköjärjestelmästä turvallisempi ihmisille ja suojata verkon laitteita ja muuta omaisuutta estämällä vaarallisten kosketusjännitteiden syntyvien kosketeltavissa oleviin paikkoihin ja tarjoamalla esiintyville vikavirroille turvallinen ja luotettava reitti maahan. Maadoituksen on oltava toimiva, jotta suojalaitteet voivat toimia nopeasti ja luotettavasti.

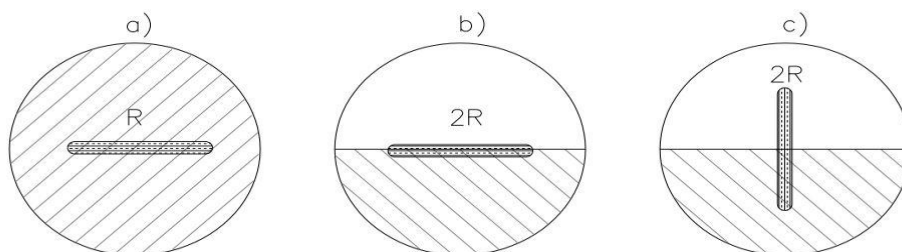
Maadoituksessa keskeinen tekijä on maadoitusimpedanssi. Maadoitusimpedanssi on resistanssi maadoituselektrodin ja riittävän etäällä, nollapotentiaalissa olevan maankohdan välillä. Elektrodin johtaessa maahan virtaa, muodostuu jännitehäviöitä virran liikkuessa maakerrosten läpi. Elektrodin kokonaispotentiaali on sama kuin jännitehäviöiden summa.

## Tievalaistusverkon maadoitus

Tievalaistuksen maadoituksesta ja maadoituksen mitoituksesta yleisin käytössä oleva ohje löytyy Liikenneviraston julkaisuista nimellä: ”Liikenneviraston ohjeita 16/2015, Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu.” Mitoituksesta tämä ohje toteaa SFS 6000-sarjaan nojaten, että ”nollajohdin on käyttömaadoitettava enintään 200 m:n etäisyydellä järjestelmän syöttöpisteestä ja jokaisen yli 200 m:n pituisen johdon tai johdohaaran loppupäässä tai enintään 200 m:n etäisyydellä loppupäästä.” Vaikka tässä puhutaankin nollajohtimesta, tievalaistusverkossa lähes aina käytetään nelijohdinjärjestelmää ja näin ollen järjestelmässä ei ole nollajohdinta vaan PEN-johdin. Tievalaistusverkossa maadoitukset toteutetaan useimmiten kaapeliojaan sijoitettavalla vaakamaadoituselektrodilla, jona käytetään 16 mm<sup>2</sup>:n kupariköyttä. Kupariköysi täyttää standardin korroosionkestovaatimukset, ja asennus kaapelikaivantoon täyttää mekaanisen suojauksen vaatimukset. Joskus tarpeen vaatiessa voidaan tievalaistuksen maadoittamiseen käyttää myös pystysuoraan asennettavia maadoituselektrodeja, mutta näiden käyttö on hyvin vähäistä. /11./

## Maadoitusresistanssi

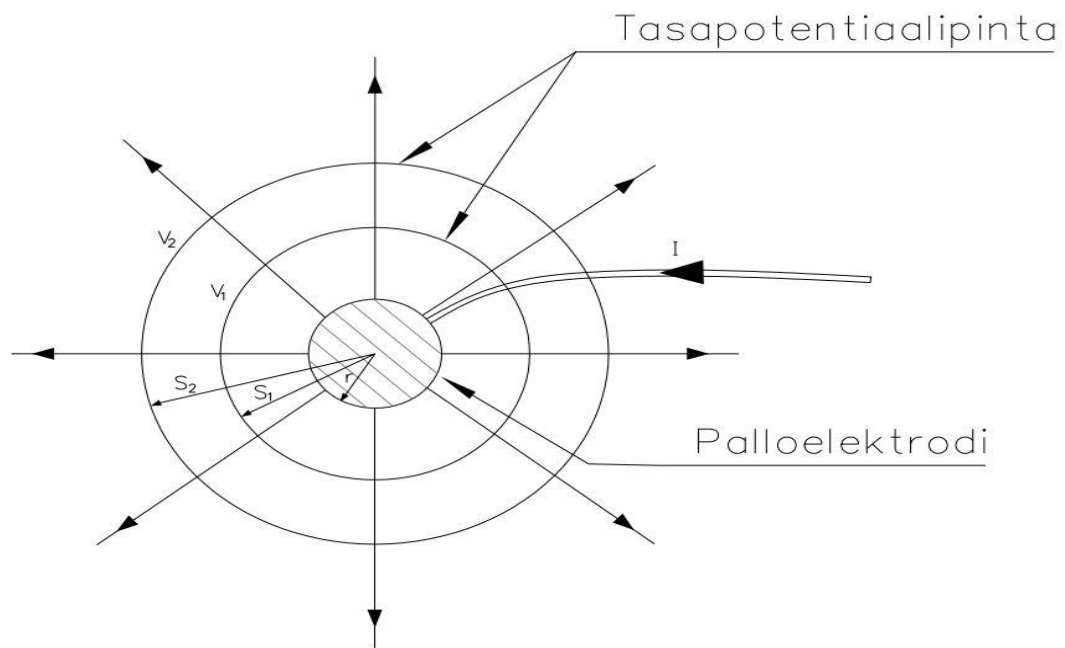
Maadoituselektrodin maadoitusresistanssi muodostuu riippuen siitä, minkälainen elektrodi on kyseessä. Tässä merkittävin asia on elektrodin pituus, mutta myös sen muoto ja poikkipinta-ala vaikuttavat maadoitusresistanssin arvoon. Myös asennustapa ja maaperän resistiivisyys vaikuttavat elektrodin maadoitusresistanssiin. Kuva 1 havainnollistaa, miten elektrodin pituus ja asennustapa vaikuttavat maadoitusresistanssin arvoon. Kuvan a kohdassa elektrodi on kokonaan upotettuna, b kohdassa asennettuna maan pintaan ja c kohdassa upotettuna pystysuoraan niin että vain puolet elektrodista on maassa. /2;4./



Kuva 1. Elektrodi jatkuvassa väliaineessa /4/.

Palloelektrodi upotettuna jatkuvaan väliaineeseen

Teoreettisessa tilanteessa, jossa palloelektrodi olisi upotettuna homogeeniseen jatkuvaan väliaineeseen, se muodostaisi kuvan 2 kaltaiset tasapotentialipinnat. Homogeenisessa väliaineessa potentialipinnat ovat elektrodin muotoiset. Tätä periaatetta voidaan soveltaa kaiken muotoisiin maadoitus elektrodieihin. Käytännössä kuitenkin pintojen muoto ja ala ovat tuntemattomia, koska aine johon elektrodi on todellisessa tilanteessa upotettuna ei ole koskaan homogeeninen. /4./



Kuva 2. Palloelektrodi upotettuna jatkuvaan väliaineeseen /4/.

Elektrodin potentialiaali saadaan ratkaistua yhtälöstä 1.

$$V = \int_r^{\infty} \frac{\rho I}{4\pi s^2} ds = \frac{\rho I}{4\pi r} \quad (1)$$

V on elektrodin potentialiaali

r on elektrodin säde

$\rho$  on väliaineen resistiivisyys

I on elektrodiin johdettu virta

r on elektrodin säde.

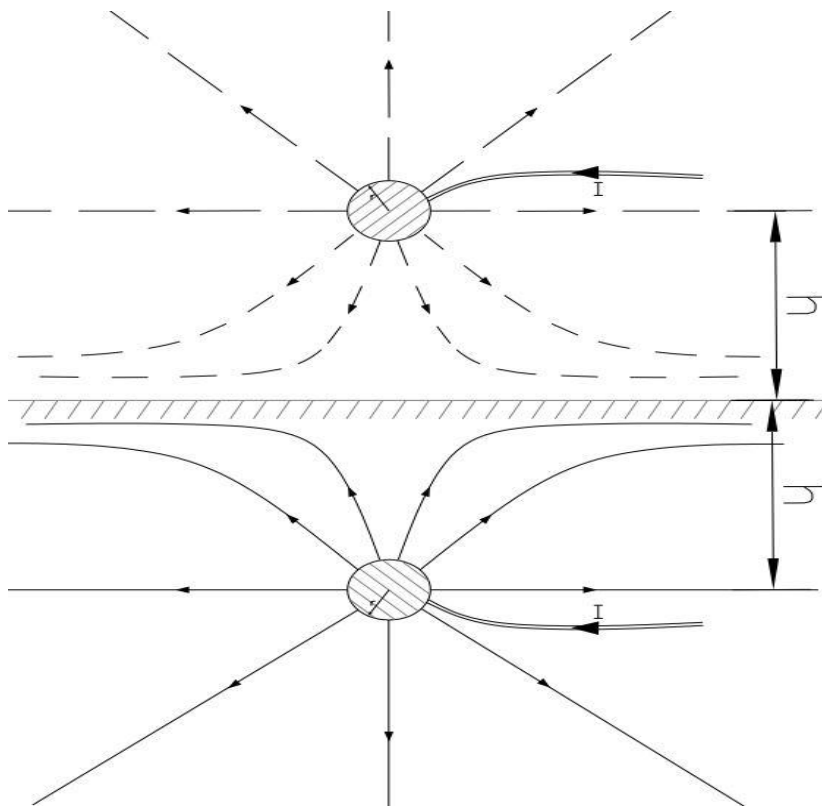


Vastaavasti maadoitusresistanssi voidaan laskea yhtälöstä 2.

$$R_E = \frac{V}{I} = \frac{\rho}{4\pi r} \quad (2)$$

Palloelektrodi upotettuna tiettyyn syvyyteen

Katu- ja tievalaistusverkossa maadoituselektrodit ovat yleensä upotettuina kaapeleiden kanssa samaan kaivantoon noin 700 mm:n syvyyteen maan pinnasta. Tässä tapauksessa elektrodista maan pintaan päin lähtevä virta kääntyy maanpinnassa sen suuntaiseksi ilman toimiessa eristeenä. Tällaisia tapauksia varten on kehitetty peilikuvamenetelmä. Peilikuvamenetelmässä elektrodin aiheuttamaa potentiaalia ja maadoitusresistanssia laskiessa on otettava huomioon peilikuvan aiheuttama lisäpotentiaali. Kuva 3 havainnollistaa tilannetta peilikuvaperiaatetta, kun elektrodi on syvyydessä  $h$ . /4./



Kuva 3. Peilikuvamenetelmä /4/.

Palloelektrodin ollessa upotettuna kuvan 3 esittämällä tavalla voidaan sen potentiaali laskea laskemalla ensin elektrodin aiheuttama potentiaali  $V_1$ , joka saadaan kaavalla 3. Tämän lisäksi täytyy laskea peilikuvan aiheuttama ns. lisäpotentiaali  $V_2$ . Nämä summaamalla saadaan kokonaispotentiaali palloelektrodille. Lisäpotentiaali saadaan laskettua kaavalla 4 ja kokonaispotentiaali lasketaan kaavalla 5. /4./

$$V_1 = \frac{\rho I}{4\pi r} \quad (3)$$

$$V_2 = \frac{\rho I}{4\pi 2h} \quad (4)$$

$h$  on elektrodin upotussyvyys.

$$V = V_1 + V_2 = \frac{\rho I}{2\pi r} \left( 0.5 + \frac{r}{4h} \right) \quad (5)$$

Palloelektrodin maadoitusresistanssin saa kaavalla 6

$$R_E = \frac{\rho}{2\pi r} \left( 0.5 + \frac{r}{4h} \right) \quad (6)$$

Vaakasuora johdin upotettuna

Katu- ja tievalaistusverkon maadoitukset rakennetaan useimmiten 20 metrin pituisilla 16 mm<sup>2</sup>:n halkaisijaltaan olevilla kupariköysillä. Tällöin maadoitusresistanssin kaava on samankaltainen kuin palloelektrodilla, mutta köydenpituus lisätään yhtälöön. Tässä on huomioitava, että upotussyvyyden on oltava paljon suurempi kuin johtimen halkaisijan, jotta kaava 7 pätee. Johtimen pituuden vaikutusta on käsitelty tarkemmin sivulla 7. /4./

$$R_E = \frac{\rho}{2\pi L} l_n \frac{L^2}{1.85hd} \quad (7)$$

$L$  on elektrodin pituus

$l_n$  on luonnollinen logaritmi

$h$  on upotussyvyys

$d$  on johtimen halkaisija

## Pohjavesisuojausten vaikutus maadoitusvastukseen

Seuraavassa on esitetty eristävän pohjavesisuojausten aiheuttaman heijastuksen vaikutus maadoitusresistanssiin. Ensin lasketaan maadoitusvastusarvo yhdelle elektrodille ”tavallisessa” tilanteessa, jossa 20 m pitkä 16 mm<sup>2</sup>:n kupariköysi on asennettu kaapelikaivantoon 700 mm:n syvyyteen maadoituselektrodiksi. Käytetään esimerkissä maan ominaisresistanssina 600 Ω/m, joka kuvastaa savensekaiselle hiekkamaalle rakennetun tien, tierakenteessa sijaitsevan elektrodin näkökulmasta maan ominaisresistanssia. Lisäksi kupariköyden halkaisijana käytetään 5,2 mm:ä, koska köyden koostuminen säikeistä tekee siitä paksumman, kuin mitä halkaisija olisi, jos se laskettaisiin poikkipinta-alasta.

$$\begin{aligned} R_E &= \frac{\rho}{2\pi L} I_n \frac{L^2}{1.85hd} \\ &= \frac{600.00\Omega/\text{m}}{2\pi 20.00\text{m}} I_n \left( \frac{20.00^2\text{m}}{1.85 \cdot 0.70\text{m} \cdot 0.0052\text{m}} \right) \\ &= 52,48 \Omega \end{aligned}$$

Jos muutoin samassa tilanteessa 40 cm:n syvyyteen asennetaan pohjaveden suojauskerros, toimii tämä sähkön eristeenä. Näin ollen pohjaveden suojausmuovi tai bentoniittimatto on ilman tilalla se elementti, joka aiheuttaa maahan johdetun virran kääntymisen. Tällöin asennussyvyys elektrodille on laskettava suojauskerroksesta, eikä maan pinnasta kuten aiemmassa.

$$\begin{aligned} R_E &= \frac{\rho}{2\pi L} I_n \frac{L^2}{1.85hd} \\ &= \frac{600.00\Omega/\text{m}}{2\pi 20.00\text{m}} I_n \left( \frac{20.00^2\text{m}}{1.85 \cdot 0.30\text{m} \cdot 0.0052\text{m}} \right) \\ &= 56,53 \Omega \end{aligned}$$

Ero tässä ei ole kovin suuri, vain reilun neljä ohmia. Tosin kun maaperän ominaisresistanssi kasvaa, myös upotussyvyyden vaikutus kasvaa. Jos kuitenkin halutaan kompensoida pohjavedensuojausten vaikutus pois maadoitusresistanssista, se onnistuu helpoiten kasvattamalla maadoituselektrodin pituutta. Esimerkkilaskun tapauksessa tämä tarkoittaisi 20 metrin elektrodin pituuden kasvattamista noin 1,87 metriä.

$$\begin{aligned}
 R_E &= \frac{\rho}{2\pi L} I_n \frac{L^2}{1.85hd} \\
 &= \frac{600.00\Omega/\text{m}}{2\pi 21.87\text{m}} I_n \left( \frac{21.87^2\text{m}}{1.85 \cdot 0.30\text{m} \cdot 0.0052\text{m}} \right) \\
 &= 52,48 \Omega
 \end{aligned}$$

Muita maadoituselektrodin muotoja

Maadoituselektrodi voidaan rakentaa minkä muotoisesta johtavasta kappaleesta tai niiden yhdistelmästä tahansa. Taulukossa 1 on esitetty maadoitusresistanssin kaavoja eri muotoisille ja eritavoilla asennetuille elektrodeille. /8./

Taulukko 1. Maadoituselektrodien maadoitusresistanssien kaavoja /8/.

Elektrodin laatu	Kaava	Huomautukset
Pallo pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{\pi D}$	
Levy pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{2D}$	$s \ll D$
Pystysuora tanko tai putki pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln \frac{4L}{1,36 \times d}$	$d \ll L$
Pystysuora tanko tai putki upotettuna	$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln \frac{4L}{1,36 \times d} \times \frac{2h+L}{4h+L}$	$d \ll L$
Vaakasuora johdin pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{\pi L} \ln \frac{2L}{1.36 \times d}$	$d \ll L$
Vaakasuora johdin upotettuna	$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{1.85 \times h \times d}$	$d \ll 4h$
Ruudukko	$R_E = \frac{\rho_E}{2D} + \frac{\rho_E}{L}$	

## 2.2 Ylijännite

Ylijännitteellä tarkoitetaan jännitettä, joka on suurempi kuin kyseiselle verkon osalle tai laitteen eristysrakenteelle laskettu referenssiaro. Ylijännite aiheuttaa tarpeetonta rasi-  
tusta verkkoon liitetyille komponenteille ja laitteille sekä erityisesti laitteiden eristysraken-  
teelle.

Ylijännitteet luokitellaan perinteisesti niiden alkuperän mukaan. Nykyään kuitenkin ylijän-  
nitteet luokitellaan kahteen luokkaan perustuen niiden muotoon. Tämä ei tuo kuitenkaan  
suurta muutosta, sillä ylijännitteen alkuperä määrää sen muodon. Uudempi luokittelu ja-  
kaa ylijännitteet kahteen luokkaan: transienttiylijännitteisiin, jotka ovat lyhytaikaisia ja voi-  
makkaasti vaimenevia, ja pientaajuisiin ylijännitteisiin, jotka ovat heikosti vaimentuvia tai  
vaimentumattomia. /9./

Pientaajuiset ylijännitteet ovat tyypillisesti kestoaltaan pitkiä, kun taas transienttiylijännit-  
teen kesto aika on joitain millisekunteja. Transienttiylijännitteetkin ovat jaettavissa vielä  
kolmeen luokkaan niiden kestoajan mukaan. Loiva transienttiylijännite saavuttaa huip-  
puarvonsa joidenkin satojen mikrosekuntien kuluessa ja vaimenee millisekunneissa.  
Jyrkkä transienttiylijännite puolestaan saavuttaa huippunsa mikrosekunneissa ja vaimene-  
vat kymmenien mikrosekuntien kuluessa. Viimeinen ja uusin luokka on erittäin jyrkät  
transienttiylijännitteet, joiden nousuajassa puhutaan nanosekunneista. /1, s.12; 5./

### Ylijännitteen syntyminen

Suurin osa jyrkistä transienttiylijännitteistä on salamaniskun aiheuttamia, mistä vanha  
nimitys ”ilmastolliset ylijännitteet” juontaa juurensa. Salamanisku voi aiheuttaa ylijännit-  
teen joko suoraan vaihejohtimeen osumalla, takaiskun kautta tai indusoitumalla. Indusoi-  
tumalla aiheutunut ylijännite on huomattavasti pienempi (100 kV – 300 kV), kun taas  
suoraan johtimeen osuvat salamaniskun aiheuttamassa ylijännitteessä puhutaan mega-  
volteista. Joka tapauksessa tällaiset ylijännitteet ovat kohtalokkaita pienjänniteverkon  
laitteiden eristysrakenteille. /1, s.23./

Loivat transienttiylijännitteet syntyvät usein nopeista tilamuutoksista verkossa. Tällaisia  
ovat mm. oikosulku, maasulku, suuren kuorman irti kytkeminen tai epätahtitilanne. Edellä  
mainitut tilanteet synnyttävät usein myös pientaajuisia ylijännitteitä, joten usein transient-  
tiylijännitteen vaimennuttua verkkoon jää pientaajuinen ylijännite. /1./

## Ylijännitteet ulkovalaistusverkossa

Tie- tai katuvalaistusverkon yksi yleisimmistä ylijännitteen aiheuttajia on yksivaiheinen maasulku. Maasulku aiheuttaa perustaajuisen jännitteen nousun kahdella ns. terveellä vaiheella. Tässä tapauksessa ylijännite esiintyy normaalisti vaihe–maaeristysvälissä ja sen suuruus riippuu vikapaikasta ja verkon maadoitustavasta, joka ulkovalaistusverkoissa on useimmiten suoraan maadoitettu. Tällöin maasulkukerroin, joka kuvaa vian aikana vaihejohtimessa vaikuttavan vaihejännitteen huippuarvon suhdetta arvoon, joka samassa vaiheessa samassa mittauspisteessä vaikutti ennen vian syntyä, on huomattavasti alle 1,8.

Valaistusverkossa yksivaiheinen maasulku voi aiheutua esimerkiksi onnettomuustapauksesta, jossa ajoneuvo kaataa tai vaurioittaa valaisinpylvästä, kaapeliviasta tai väärinkytkenästä.

Oiko- tai maasulku saattaa aiheuttaa verkkoon myös loivia transienttiylijännitteitä. Ylijännite syntyy usein vian takia tapahtuvasta kuorman erotuksesta. Tällöin vian aiheuttama jännitehäviö poistuu ja synnyttää ylijännitteen. Tällöin jännitteen muutokset ovat usein samaa luokkaa kuin kuorman aiheuttamat jännitehäviöt.

Toinen yleinen ylijännitteen aiheuttaja on salamaniskut. Tällöin ylijännitteen muoto on jyrkkä transienttiylijännite. Salaman iskun aiheuttama ylijännite voi siirtyä sähköverkkoon useammalla tavalla, mutta UV-verkon tapauksessa ylijännite useimmiten syntyy takaiskun kautta. Tämä tapahtuu käytännössä niin, että salama iskee maadoitettuun metallipylvääseen tai -valaisimeen, tai johonkin verkon lähelle, jolloin salamavirran nousunopeus aiheuttaa voimakkaan magneettikentän, joka indusoi ylijännitteen maadoituselektrodiin tai ilmajohtoasennuksissa riippukierrekaapeliin. Toki ilmajohtoasennuksissa on mahdollista, että salama iskee suoraan jännitteeseen johtimeen, jolloin ylijännite muodostuu erittäin suureksi.

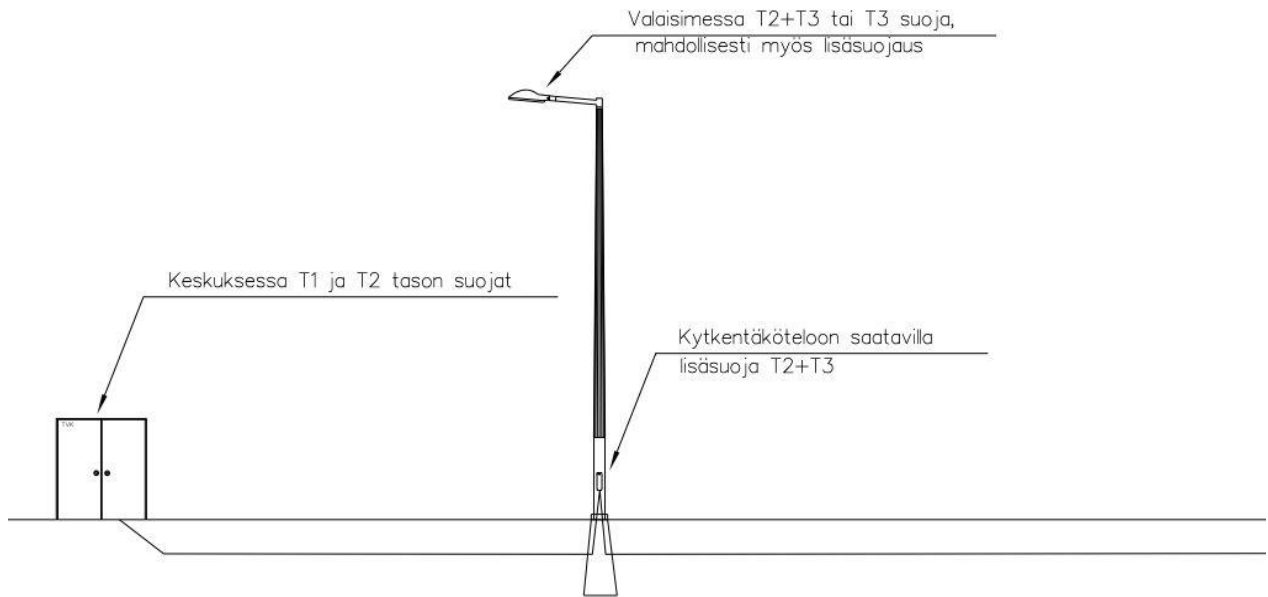
Yksi led-valaisimien yleistymisen johdosta tulevaisuudessa huomioitava asia on yliaaltojen lisääntyminen verkossa. Yliaaltojen vaikutuksesta pääsee syntymään resonanssitila, jos verkossa on yliaaltojen taajuudella jokin värähtelypiiri resonanssissa. Resonanssitila saattaa aiheuttaa pienitaajuisia ylijännitteitä. Vaikka verkkoon aiheutuu yliaaltoja ja yliaaltovirtoja, ne eivät kuitenkaan aiheuta resonanssitilaa eivätkä näin ollen ylijännitettä

verkossa niin kauan, kun verkosta ei löydy yliaaltolähteen taajuudella värähtelypiiriä. /5, s.252—277; 6, s.1./

### Ylijännitesuojaus

Verkon ylijännitteitä pyritään rajoittamaan sijoittamalla verkkoon ylijännitesuojia. Ylijännitesuojaus toteutetaan tasoittain T1, T2 ja T3. Taso 1 on ”karkea” ylijännitesuojaus, jonka tarkoitus on suojata verkkoa ja laitteita suurilta ylijännitteiltä, kuten suorilta salamaniskuilta ja vastaavilta. Tyypin 1 ylijännitesuojauksen voi toteuttaa helposti esimerkiksi kipinävälisuojaalla. Kipinävälisuoja on laite, jossa tapahtuu läpilyönti L-PE(N) välillä jos potentiaaliero kasvaa yli raja-arvon, eli ts. verkossa on laitteen laukaisuarvon ylittävä ylijännite. Tyypin 2 ylijännitesuojat on tarkoitettu suojelemaan indusoituneita ympäristöstä johtuvia ylijännitteitä sekä kytkentäylijännitepiikkejä vastaan. Tyypin 3 ylijännitesuojat ovat pitkälti samankaltaisia kuin tyypin 2 ylijännitesuojat, mutta herkempiä toimimaan. /6./

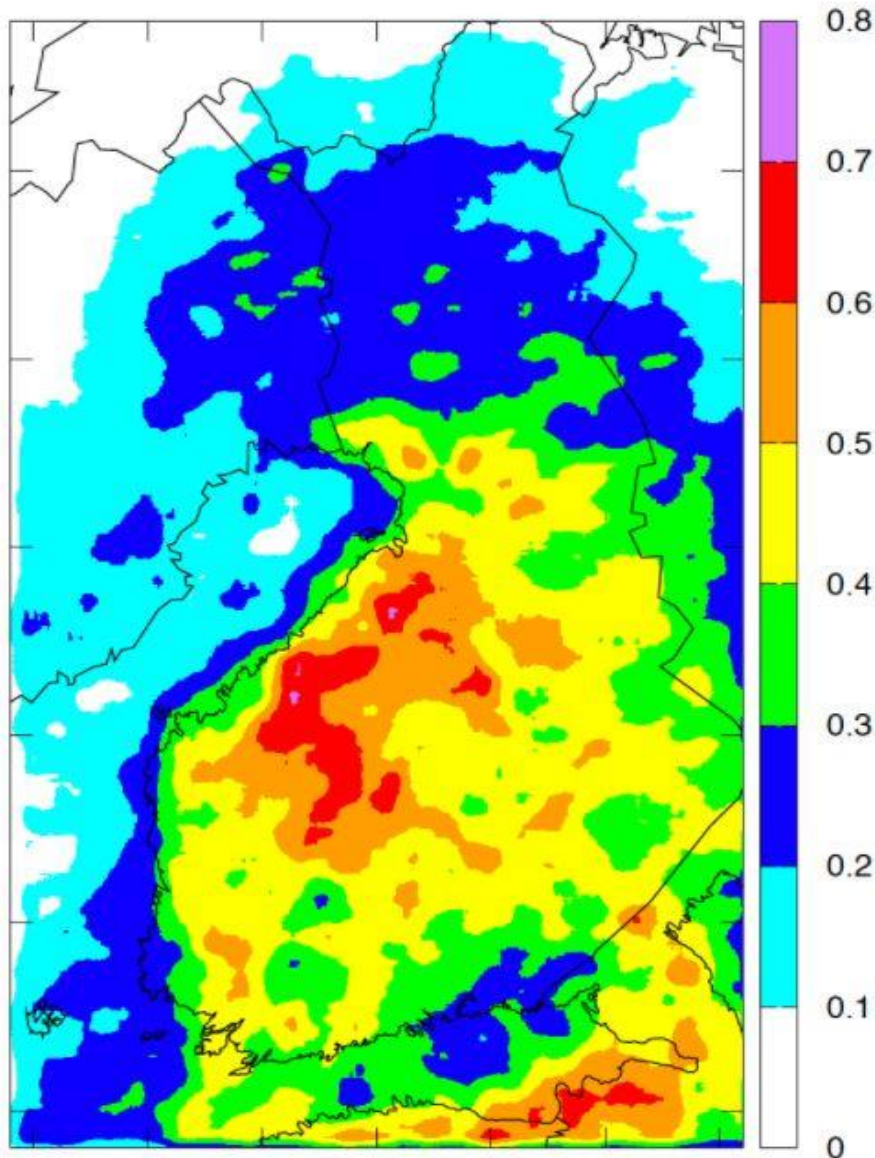
Nykyaikaisissa suojalaitteissa on usein yhdistettynä joko T1- ja T2-tasot tai T2- ja T3-tasot. Suojalaitteet, joissa on kaksi tasoa yhdistettynä, helpottavat ylijännitesuojauksen suunnittelua ja säästävät tilaa keskuksissa ja laitteissa. Tievalaistusverkossa suojaus on yleensä toteutettu niin, että valaistusverkkoa syöttävässä keskuksessa on ylijännitesuoja T1/T2. Tämän lisäksi led-valaisimen liitäntälaitteessa tai led-moduulissa on T2/T3 tason ylijännitesuoja, jonka ylijännitekestoisuus vaihtelee 4 KV:n ja 10 KV:n välillä. Ylijännitesuojauksen taso saattaa olla erilainen samassa valaisimessa, erilainen myös ”L-PE:n” ja ”L-N:n” välillä, eli vaikka sähkönsyöttö onkin TN-C järjestelmää, valaisimelle tuodaan erikseen pylväskalusteelta toiminnallinen nolla ja johdin rungon maadoitusta varten, joka tekee verkosta TN-C-S järjestelmän. Tämän lisäksi jotkut valaisinvalmistajat käyttävät lisäksi erillistä ylijännitesuojaa valaisimessa tai tarjoavat tätä lisäosana. Lisäksi markkinoilta löytyy ylijännitesuojia, jotka voidaan asentaa pylvääseen valaisinkohtaiseksi liäsuojaaksi. Kuva 4 havainnollistaa ylijännitesuojien asennuspaikat tievalaistusverkossa.



Kuva 4. Ylijännitesuojat tievalaistusverkossa.

Valaisimessa olevan ylijännitesuojan ongelma on, että sen toimintakunnosta ei ole minikäänlaista indikointia olemassa. Tällöin ei voi tietää, onko ylijännitesuoja rikkoutunut esimerkiksi liian suuresta ylijänniteiskusta. Ylijännitesuojia hankkiessa kannattaakin kiinnittää huomiota tuotteen laatuun. Markkinoilla on paljon tuotteita ylijännitesuojaukseen. Kuitenkaan kaikki näistä tuotteista eivät tarjoa luotettavaa suojaa. Esimerkiksi huono varistori ylijännitesuojassa saattaa johtaa suojalaitteen kuumenemiseen, joka voi aiheuttaa vahinkoja etenkin, jos kyseessä on valaisimeen sijoitettu suojalaite. Led-tekniikka on tuonut markkinoille pitkäikäisiä vähän huoltoa tarvitsevia energiatehokkaita valaisimia. Näiden hankintahinta on kuitenkin melko korkea joten suojauksessa, mukaan lukien ylijännitesuojaus, on suositeltavaa käyttää luotettavien valmistajien tuotteita. On myös todella harkittava, onko lisäsuojauksen asentaminen kannattavaa. Lisäsuojausta on hyvä harkita etenkin, jos sille on jokin erityinen syy, esimerkiksi jos valaistus sijaitsee alueella, jossa salamointia on poikkeuksellisen paljon. Tällaisia alueita ovat esimerkiksi Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaan läänit sekä osittain Keski-Suomen lääni. Salamointimääristä on lisätietoa kuvassa 5.



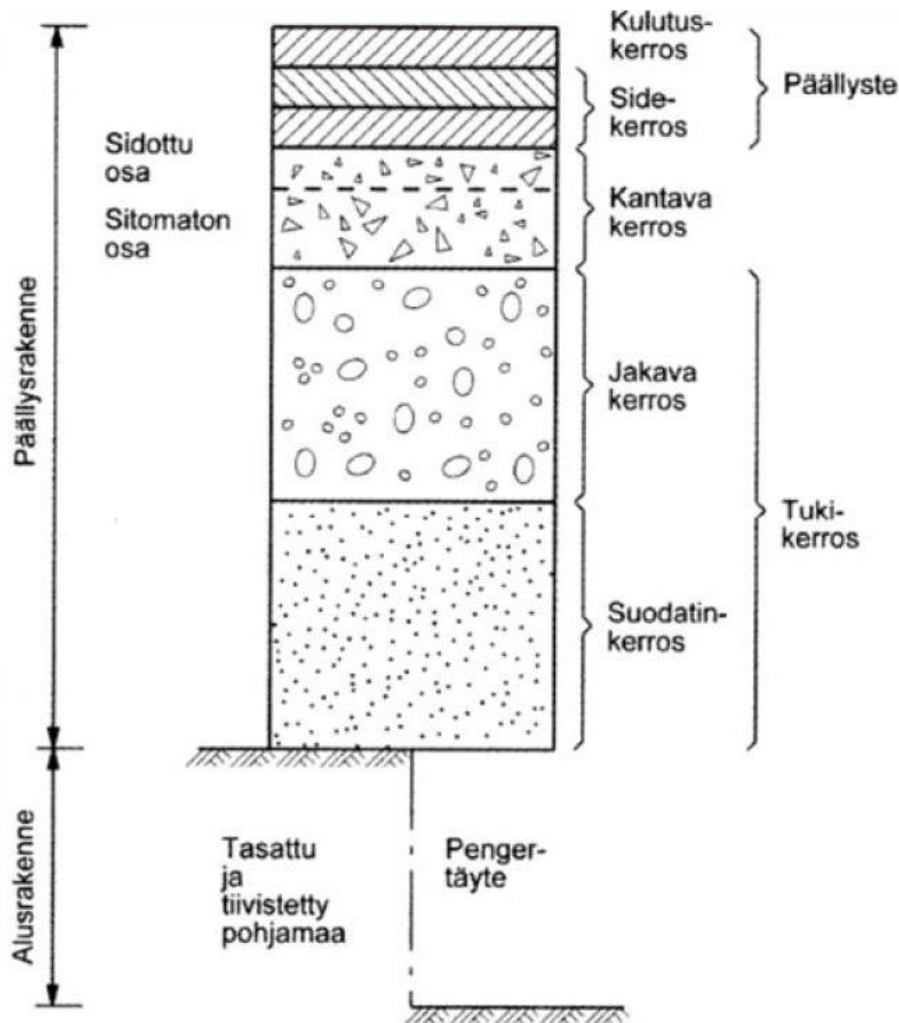


Kuva 5. Keskimääräiset vuotuiset maasalamat neliömetrille vuosilta 1998—2006 /7/.

### 2.3 Tierakenne

Tien täytyy kestää suuren massan ja kulutuksen lisäksi myös luonnonilmiöiden, kuten roudan ja rankkasateiden rasitukset. Jotta tie kestää nämä rasitteet, täytyy asfaltin alle rakentaa huomattavat tukikerrokset, kaadot ja ojitukset. Kun tieosuus valaistaan, valaisinpylväät sijaitsevat useimmiten jossain määrin tierakenteessa. Valaistus kaapeloidaan normaalisti suorinta mahdollista linjaa jalustalta jalustalle. Tähän samaan kaivantoon asennetaan myös maadoituselektrodit. Maadoituselektrodin sijaitessa tierakenteessa elektrodin ympärillä on kerroksittain eri materiaaleja, joten elektrodin vaikutusalueella

olevan maa-aineen resistiivisyyttä ja näin ollen kuinka tiheästi tietynlaisia elektrodeja täytty asentaa, jotta vaatimukset täytetään, on hankala määrittää. Kuvassa 6 nähdään malli tien kerrosrakenteesta.



Kuva 6. Tierakenteen kerrokset /3/.

Valaistuksen kaapelit tie- tai katualueella asennetaan yleensä 70 cm:n syvyyteen, jolloin saatetaan päätyä tilanteeseen, jossa maadoituselektrodi on jakavan kerroksen sorassa. Vaikka välittömästi elektrodin ympärillä oleva maa ei ole ainoa resistanssin määrittävä tekijä, tilannetta voitaisiin parantaa helposti upottamalla elektrodia hieman syvemmälle hiekasta tehtyyn suodatinkerrokseen. Hiekan keskimääräinen ominaisresistanssi on  $2\,000\ \Omega/\text{m}$ , kun soran vastaava on  $15\,000\ \Omega/\text{m}$ . Kuitenkaan suurta vahinkoa ei synny, vaikka elektrodin asennussyvyyydessä maakerros olisi soraa, koska kaapelikaivannon suojatäyttö on tehtävä joka tapauksessa hiekasta, jolloin elektrodissa kiinni oleva maa on reakooltaan erittäin pientä. Raekooltaan pieni maa-aines tiivistyy tiukasti elektrodin

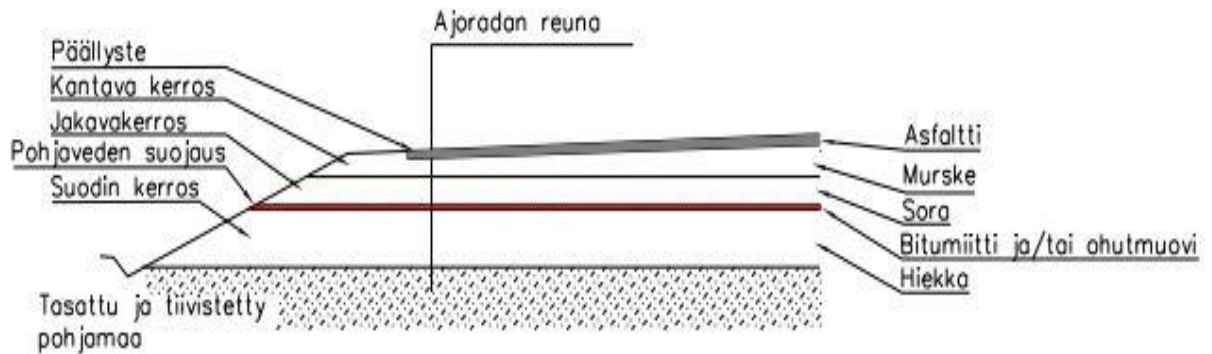
pintaa vasten, eikä jätä elektrodin ja maa-aineksen väliin ilmataskuja, joiden kohdalta virta ei pääsisi johtumaan maahan. Taulukossa 2 on esitetty tierakenteen kerrosten materiaali, kerroksen yleisesti käytetty paksuus ja materiaalien ominaisresistanssi. Tässä on kuitenkin huomioitava, että maakerrosten paksuus vaihtelee huomattavasti riippuen siitä, millaiselle kuormalle tietä tehdään ja millainen pohjamaa alueella on. Myöhemmin taulukossa 3 on esitetty resistiivisyysarvoja muillekin materiaaleille.

Taulukko 2. Tierakenteen kerrokset, niiden paksuus ja ominaisresistanssi. /8; 12/.

Kerros	Materiaali	yleinen paksuus (mm)	Resistiivisyyden vaihteluväli ( $\Omega/\text{m}$ )	Keskimääräinen resistiivisyys ( $\Omega/\text{m}$ )
Päällyste	Asfaltti	100	5000-15000	10000
Kantavakerros	Murske	200	1500-10000	5000
Jakavakerros	Sora	400	3000-30000	15000
Suodinkerros	Hiekka	1000	1000-3000	2000

#### Pohjavesisuojaus tierakenteessa

Pohjavesialueilla tierakenteeseen asennetaan suojauskerros, esimerkiksi bentoniittimaa tai -matto ja/tai jonkinlainen ohutmuovi. Tällä pyritään estämään tieltä maahan imeytyvän liikaisen veden sekoittuminen pohjaveteen. Pohjavedensuojaus on sinällään merkittävä tämän työn kannalta. Vaikka bentoniittisavi on johtava pienehkön ominaisresistanssin omaava materiaali, muovi on eriste, joka aiheuttaa virran heijastumisen kuten maanpinta, on huomattavasti lähempänä elektrodia. Kuten sivuilla 7–8 esitetyssä esimerkkilaskelmassa todettiin, pohjavedensuojauksen vaikutus on helppo kompensoida maadoituselektrodin mitan kasvattamisella. Kuvassa 7 nähdään ajoradan poikkileikkaus, jossa on nimetty tienkerrokset ja niiden materiaali, kun käytetään pohjavedensuojausta.



Kuva 7. Poikkileikkaus ajoradasta, kun käytetään pohjavedensuojausta

### 3 Maaperän resistiivisyys- ja maadoitusresistanssimittaukset

Maaperän resistiivisyys tulisi mitata ennen maadoituksen tai maadoitusverkon suunnittelun alkua. Näin suunnittelussa voitaisiin ottaa huomioon maaperän ominaisuudet. Tässä työssä tehdyissä mittauksissa maaperän resistiivisyys mitattiin, jotta näitä arvoja voitiin verrata maadoituselektrodin maadoitusimpedanssiarvoihin. Maadoitusresistanssi puolestaan mitataan yleensä elektrodin tai maadoitusverkon toiminnallisuuden toteamiseksi. Maaperän resistiivisyyden sekä maadoitusresistanssin mittaamiseen on kehitetty paljon erilaisia menetelmiä. Tässä luvussa käydään hieman läpi yleisimmin käytössä olevia mittausmenetelmiä sekä maaperän resistiivisyys- että maadoitusresistanssimittausten osalta.

#### 3.1 Olemassa olevan maadoituksen vastuksen mittaus

Maadoitusvastuksen mittaamiseen on olemassa useita tapoja. Mittaustapaa valittaessa on tarkasteltava:

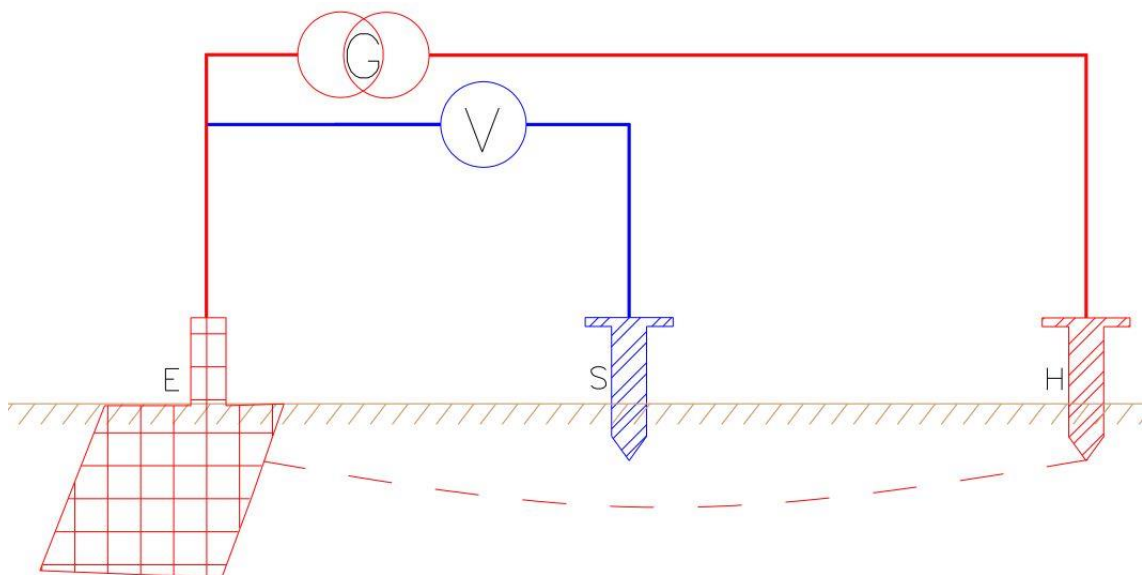
- onko kyseessä yksittäinen elektrodi vai onko se kytkettynä muihin.
- voidaanko tarkastus suorittaa jännitteettömänä

- minkälaisesta tarkkuudesta vaaditaan
- ja millaisessa ympäristössä mitaus tehdään (kaupunki vai maaseutu ja kulkeeko vaikutusalueella metallisia putkia tai muita johtavia rakenteita).

Tämän työn mittauksissa maadoitukset voidaan ajatella yksittäisinä, sillä ne ovat toistensa vaikutusalueen ulkopuolella ja elektrodi voidaan helposti kytkeä irti pylvällä mitauksen ajaksi.

#### Kolminapamaadoitusvastusmittaus

Yhden elektrodin tapauksessa pystytään käyttämään kahden apuelektrodin avulla suoritettavaa yksittäisen maadoituksen mittausta, jossa testerin generaattori syöttää mitausvirtaa virta-apuelektrodin kautta, joka maaperää pitkin johtuu mitattavalle maadoituselektrodille. Mitattava arvo on jännite, joka mitataan maadoituselektrodin ja maan nolapotentialin sijoitetun mittausapuelektrodin väliltä. Mittausapuelektrodi sijoitetaan mitausvirtaa syöttävän apuelektrodin ja mitattavan maadoituselektrodin väliin sellaiselle etäisyydelle, että se ei sijaitse kummankaan vaikutusalueella, koska tällöin ekvivalenttinen vastusarvo lähestyy nollaa, jolloin mittaustulokset ovat virheellisiä.



Kuva 8. Yhden maadoituselektrodin mitaus.

Koska mitattavan maadoituselektrodin sekä virtaa syöttävän apuelektrodin vaikutusalueet riippuvat virran suuruudesta ja maaperänresistiivisyydestä, niiden kokoa ei tunneta. Koska maaperä ei koskaan luonnossa ole homogeeninen, myöskään vaikutusalueen

muotoa ei voida tuntea. Edellä mainituista syistä on varmistettava, että jännitteen mittauselektrodi sijaitsee potentiaalivapaalla alueella. Tämän voi toteuttaa esimerkiksi käännepistemenetelmällä, jossa mittausapuelektrodia siirretään mitattavan elektrodin ja virta-apuelektrodin välillä esimerkiksi 10 m välein, näitä pisteistä mitatuista tuloksista muodostetaan kuvaaja mittausetäisyys suhteessa mitattuun maadoitusresistanssi arvoon. Kuvajassa ilmenee käännepiste jossa, käyrä lähtee jyrkkään nousuun. Käännepisteen arvo on elektrodin maadoitusimpedanssi.

#### 62 %:n menetelmä

Potentiaalivapaan alueen nopeampaan löytämiseen ja mittauskertojen vähentämiseen on kokemusperäisesti ns. 62 %:n menetelmä. Jännitteen mittauselektrodi sijoitetaan mitattavan elektrodin ja virtaa syöttävän apuelektrodin etäisyydestä toisiinsa nähden 62 %:n päähän mitattavasta elektrodista samaan linjaan. Tällöinkin paikan sopivuus tulee varmistaa siirtämällä jännitteen mittausapuelektrodia 10 % linjaa pitkin alkuperäisen paikan molemmin puolin. Jos tulokset eivät varmistusmittauksissa muutu oleellisesti, tulos on paikkansa pitävä. Jos tulos muuttuu, on apuelektrodien paikkaa siirrettävä, joko vaihtamalla mittausetäisyyttä tai -suuntaa ja uusittava mittaus.

### 3.2 Maaperän resistiivisyysmittaus

Eri maa-aineilla on erilaisia ominaisuuksia, joista yksi on sähkönjohtavuus. Sähkönjohtavuuteen toki vaikuttaa maalajin lisäksi moni asia, kuten kosteus ja lämpötila. Taulukossa 3 on esitetty joidenkin maa-ainesten keskimääräisiä resistanssiarvoja sekä vaihteluvälejä.

Taulukko 3. Maalajien ominaisresistanssin keskimääräisiä suuruuksia ja vaihteluvälejä /2/.

Aine	Keskimääräinen $\Omega\text{m}$	Vaihteluväli $\Omega\text{m}$
Savi	40	25 - 70
Savensekainen hiekka	100	40 - 300
Lieju, turve, multa	150	50 - 250
Hiekka, hietä	2000	1000 - 3000
Moreenisora	3000	1000 - 10 000
Harjusora	15 000	3000 - 30 000
Graniittikallio	20 000	10 000 - 50 000
Järvi- ja jokivesi	250	100 - 400
Merivesi (Suomen lahti)	2,5	1 - 5

#### Wenner-menetelmä

Myös maaperän resistiivisyyden määrittämiseen ilman minkäänlaista maadoituselektrodia, pelkkiä apuelektrodeja käyttäen on useita eri menetelmiä. Näistä ehkä yleisimmin käytössä oleva on Wenner-menetelmä, jossa maahan upotetaan neljä mittauselektrodia linjaan. Mittalaite syöttää mittausvirran uloimpien elektrodien (E ja H) välille ja mittaa jännitteen kahden sisemmän elektrodin (S ja ES) väliltä. Tästä yleisimmät mittarit ilmoittavat maadoitusvastusarvon R, josta voidaan laskea maaperän resistiivisyys kaavalla 8.

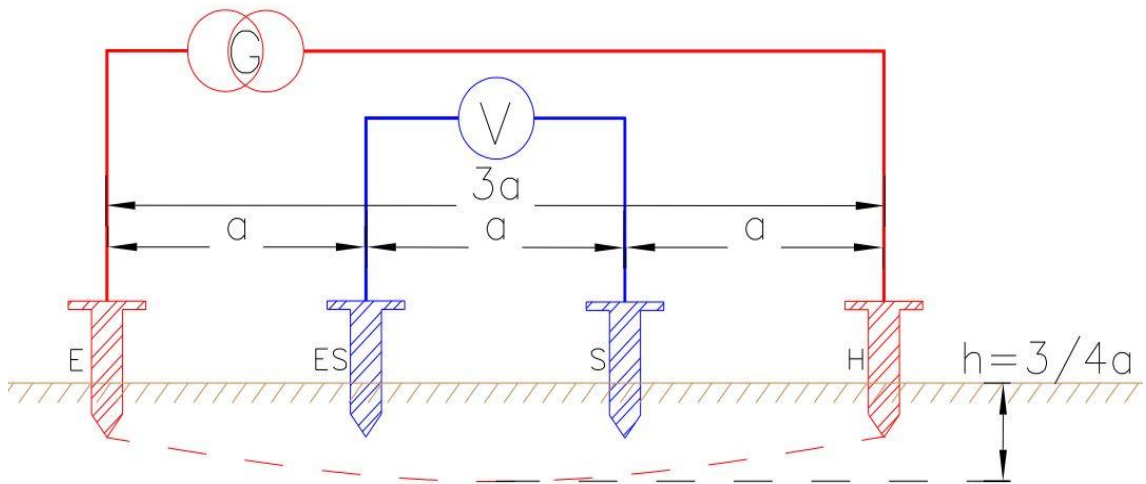
$$\rho = 2\pi aR \quad (8)$$

$\rho$  on maaperän resistiivisyys ( $\Omega/\text{m}$ )

$a$  on kahden elektrodin välinen matka (m)

$R$  on mittarin ilmoittama maadoitus arvo ( $\Omega$ ).

Kuten kuva 9 havainnollistaa, mittaussyvyys riippuu elektrodien etäisyydestä toisiinsa. Tämän takia Wenner-menetelmää käytettäessä on siirrettävä kaikkia neljää elektrodia, jos mittaussyvyyttä halutaan vaihtaa.



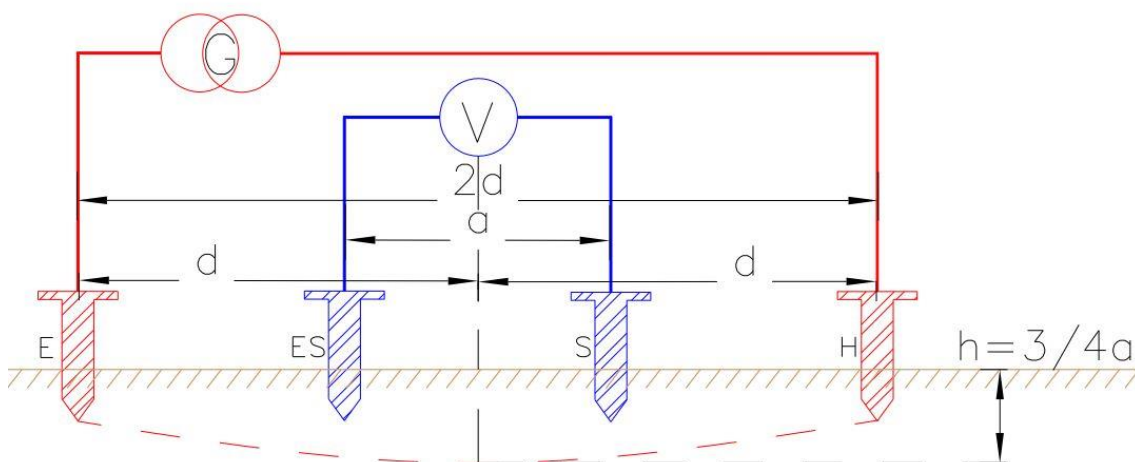
Kuva 9. Wenner- menetelmän kytkentä ja mittauselektrodien etäisyydet. /12/.

### Schlumberg-menetelmä

Toinen yleinen vaihtoehto maaperän resistiivisyyden määrittämiseen vain apuelektrodeja käyttäen on Schlumberg-menetelmä, jossa mittaamisen kannalta oikeastaan ainoa ero Wenner-menetelmään nähden on, että kahden sisemmän elektrodin välinen etäisyys on vakio ( $a$ ) ja vain kahta ulommaista elektrodia siirretään etäisyyksille  $d$  mittauksen keskipisteestä. Tämä säästää aikaa tapauksissa, jossa halutaan määrittää maaperän resistiivisyys useammasta syvyydestä. Myös Schlumberg-menetelmässä testeri ilmoittaa maadoitusvastusarvon  $R$ , mutta kaava maanresistiivisyyden määrittämiseksi on hieman monimutkaisempi. Kuva 10 havainnollistaa Schlumberg-menetelmän kytkentää.

$$\rho = (\pi \left( d^2 - \frac{a^2}{4} \right) * R) / 4 \quad (9)$$





Kuva 10. Schlumberger-menetelmän kytkentä ja mittauselektrodien etäisyydet. /12/.

#### 4 Mittausten suorittaminen ja mittaustulosten analysointi

Tässä luvussa esitellään ensin mittauskalusto ja kerrotaan mittausten toteuttamisesta. Sen jälkeen tarkastellaan mittausten tuloksia ja pohditaan mittausten tekemistä pohjavedensuojausalueella. Kaikki mitatut tulokset on esitetty mittauspöytäkirjassa, joka on tässä työssä liitteenä 1.

Mittaukset tehtiin tierakenteista, joihin on usein asennettu tekniikkaa, kuten vesi- ja kaukolämpöputkia. Onkin tärkeää selvittää, onko mittausalueella johtavia putkia tai muiden järjestelmien maadoituksia. Mittauksia suoritettiin seitsemässä kohteessa Uudenmaan läänissä syyskuussa 2017. Kohteista kolme olivat Liikenneviraston omistamia teitä, joissa on pohjavedensuojaukerros ja kolme Liikenneviraston omistamia teitä, joissa ei ole pohjaveden suojausta. Kaikissa näissä kuudessa kohteessa valaistus on toteutettu yksipuoleisella sijoituksella tien pientareelle. Valaisinpylvään etäisyys tien reunaan vaihteli kohteiden välillä. Vertailun vuoksi viimeiseksi kohteeksi valittiin haja-asutus alueella sijaitseva katu, jossa pylväät sijaitsevat välikaistalla ajoradan ja kevyenliikenteenväylän välissä. Kaikissa kohteissa valaistus on toteutettu metallipylväillä ja maakaapeloinnilla. Selvää on, että mittausten laajuus ei riitä uuden suunnitteluohjeen tai vastaavan dokumentin tekemiseen, eikä tämä ollut tarkoituskaan. Mittausten tarkoitus oli saada tietoa, joka havainnollistaisi tierakenteen ja maadoituselektrodin sijainnin tierakenteessa vaikutusta maadoitusresistanssiin. Mittaukset suoritettiin Chauvin Arnoux-CA6471 mittarilla,

joka esiintyy kuvassa 11. Saman tehtävän suorittavia mittalaitteita löytyy useammilta valmistajilta. Tässä työssä päädyttiin kyseiseen mittariin, koska sen lisäksi, että kyseinen laite on helppokäyttöinen, varmatoiminen ja tarkka, Chauvin Arnoux lainasi mittalaitteen tätä työtä varten.



Kuva 11. CA6471-Maadoitusvastusmittari /13/.

*Maaperän resistiivisyyssmittaus* suoritettiin Wenner-menetelmää käyttäen. Mittausetäisyyksiksi valittiin 3, 4 ja 5 m, koska tällöin kaavalla 10 mittaussyvyyksiksi tulee 2,25 m, 3 m ja 3,75 m. Etäisyydet valittiin mahdollisimman lyhyiksi, koska tarkoitus oli tutkia tierakenteen resistiivisyyttä. Edellä mainittuja lyhyempien etäisyyksien käyttö ei onnistu, koska tällöin mittauselektrodit sijaitsisivat toistensa vaikutusalueilla ja tämä aiheuttaisi vääristymän mittaustuloksissa.

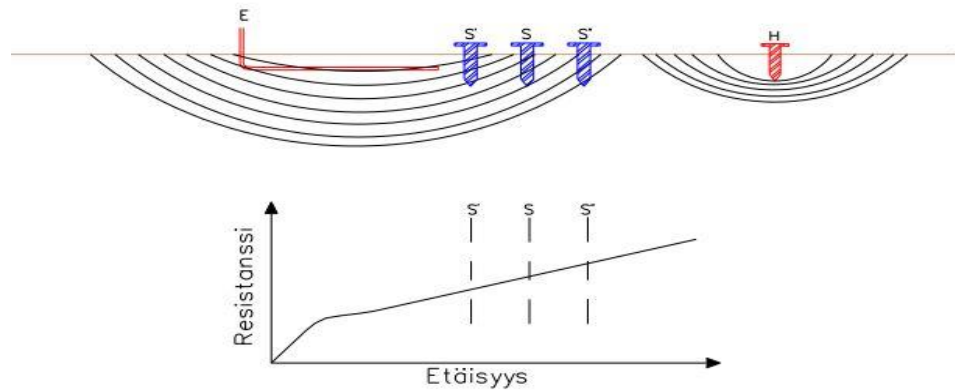
$$h = 3/4a \quad (10)$$

$h$  on mittaussyvyys

$a$  on elektrodien välinen etäisyys.

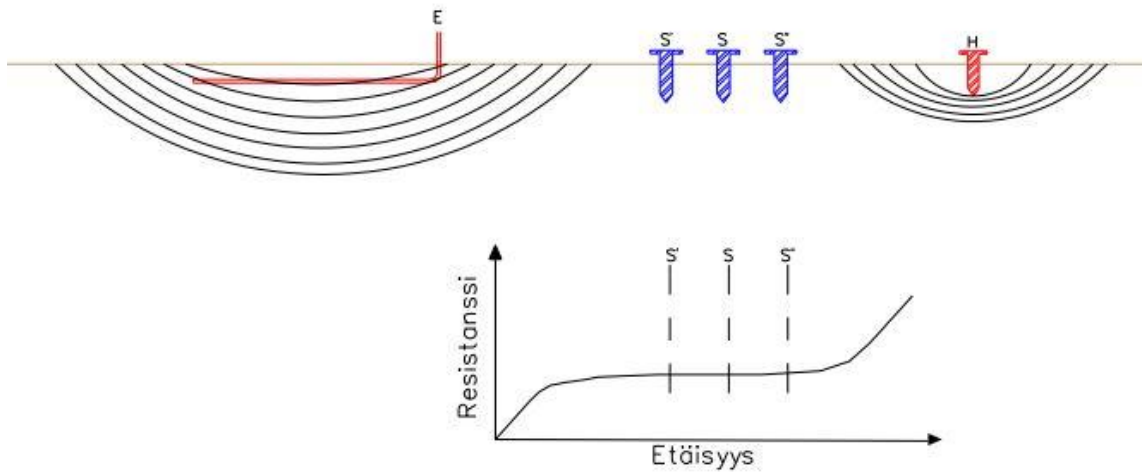
Maadoitusimpedanssia mitattaessa, mitattiin yksi verkosta irti kytketty elektrodi joka kohteessa. Mittauksessa käytettiin kolminapamenetelmää ja mittauspisteet sijoitettiin kymmenen metrin välein 10 m — 90 m välillä, sekä tarvittaessa vielä mittaus 95 metrin etäisyydeltä, jos selkeää käännepistettä ei siihen mennessä ollut löytynyt. Tuloksista voidaan määrittää resistanssi joko käännepistemenetelmällä tai 62 %:n periaatteella, mikäli selvää käännepistettä ei ole havaittavissa. Ennen mittauksia on myös tiedettävä, kumpaan suuntaan jalustasta maadoituselektrodi on asennettu. Jos mittaus tehdään elektrodin päältä, aiheuttaa tämä vääristystä tuloksiin. Tuloksista muodostetun käyrän muodosta

voidaan kuitenkin päätellä ja varmistua, onko mittaus suoritettu virheellisesti maadoitus-elektrodin päällä. Kuvassa 12 nähdään resistanssi suhteessa mittausetäisyyteen sekä käyrä ja elektrodien vaikutusalueet tapauksessa, jossa mittaus on suoritettu apuelektrodin päällä.



Kuva 12. Apuelektrodi mitattavan elektrodin vaikutusalueella.

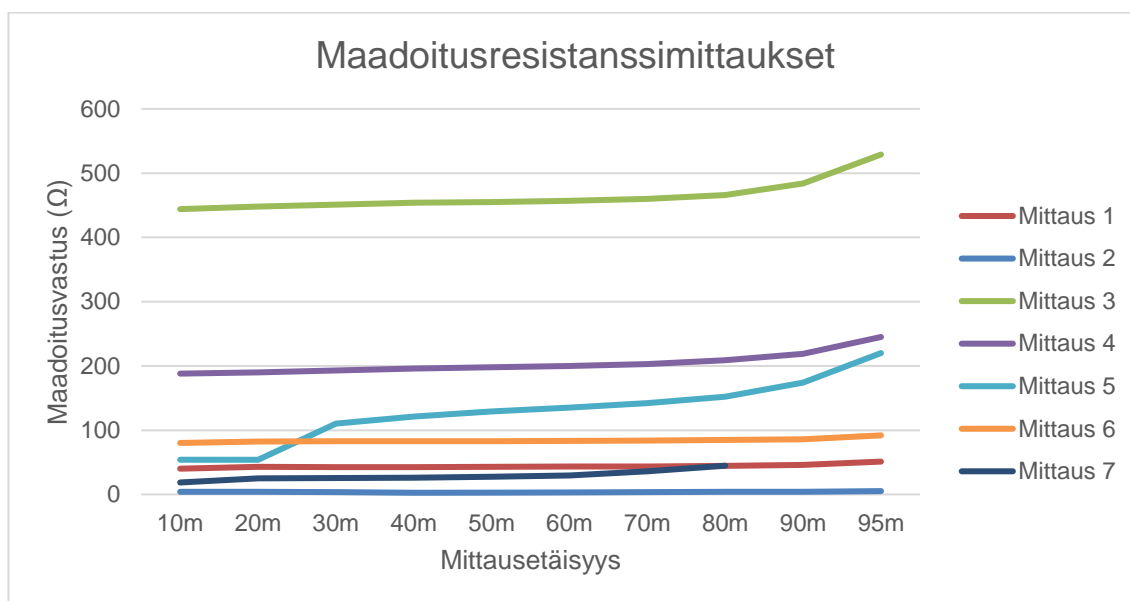
Kuvassa 13 puolestaan on oikeaoppisesti tehty mittaus, niin että maadoituselektrodi ei kulje mittausalueella.



Kuva 13. Apuelektrodi vaikutusalueen ulkopuolella.

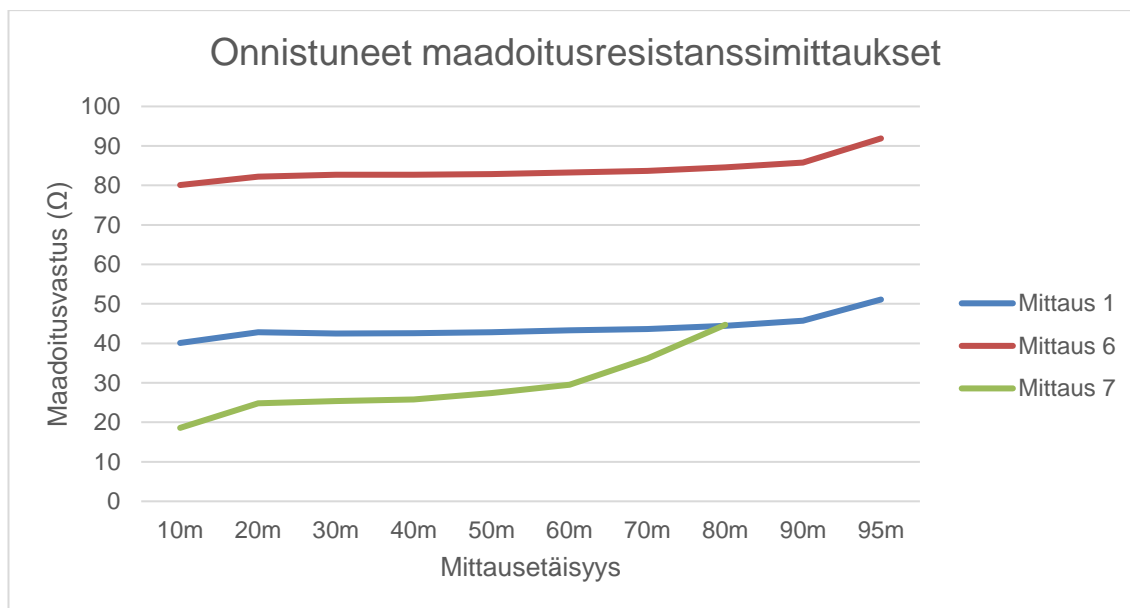
## Tulosten tarkastelu

Heti ensimmäisenä mittaustuloksia tarkastellessa huomaa suurta hajontaa tulosten välillä. Arvoja tarkemmin tarkasteltaessa huomataan joidenkin mitattujen maadoitusresistanssien olevan niin korkeita, että voidaan olettaa mittauksen epäonnistuneen. Kuvio 1 havainnollistaa tilannetta.



Kuvio 1. Maadoitusresistanssimittausten tulokset.

Liikenneviraston ohjeen 16/2015 "Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu" mukaan maadoitusimpedanssiksi tulisi saada mahdollisuuksien mukaan alle 100 Ω. Kuvio 1 huomataan, että kolmannen maadoituselektrodin maadoitusvastusarvo on lähes viisinkertainen ohjeeseen nähden. Toisaalta toisen mittauksen arvo näyttäisi olevan nolla tai ainakin hyvin lähellä nollaa. Jos kuvioista poistetaan mittaukset, joiden onnistumisesta on pieninkään epäily, jäljelle jäävistä käyristä havaitaan selvästi käännealue sekä jänniteapuelektrodin sijainti mitattavan maadoituselektrodin vaikutusalueella ensimmäisessä mittauspisteessä. Nämä ovat esitetty kuviossa 2.



Kuvio 2. Onnistuneiden mittausten käännepistemäkuvaajat.

Kuvion 2 käyrät osoittavat joukkoon mahtuneen myös onnistuneita mittauksia. Ensimmäisen 10 metrin etäisyydeltä mitatun arvon pienuuden ei anneta häiritä. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että mittauspiste on ollut mitattavan elektrodin vaikutusalueella. Taulukossa 4 on esitetty numeerisia arvoja, joiden avulla päästään tulosten tarkastelussa hieman tarkemmin.

Taulukko 4. Tärkeimmät mittaustulokset ja huomiot mittauksista

Kohde	Maaperänresistanssi ( $\Omega/m$ ) (*)	Maadoitusresistanssi ( $\Omega$ ) (**)	Huomiot
1	434	44	Onnistunut mittaus, valaistus viherkaistalla josta johtuu matala maaperän ominaisresistanssi arvo.
2	186	-	Ilmeisesti joko lähellä kulkeneen junanradan maadoitukset tai muu johtava elementti maassa vääristi mittaustulokset.
3	2890	460	Pohjaveden suojaus maadoituselektrodin ja mitta-apuelektrodien välissä vääristi tulokset.
4	1217	200	Sama ongelma kuin kohdassa kolme.
5	2147	152	Edelleen ongelma pohjavesisuojausauksen kanssa, tässä mittauksessa jostain syystä 10 ja 20 metrin matkoilta mitatut arvot ovat pienempiä.
6	616	86	Tässä mittaustulokset ovat onnistuneita, maadoitusresistanssista huomataan sen olevan kohtuu suuri verrattuna muihin onnistuneisiin mittauksiin. Oletettavasti tämä johtu elektrodin sijainnista tierakenne kerroksessa joka on murskettua tms.
7	386	29	Onnistunut mittaus, todella pienimaadoitusresistanssi johtuu todennäköisesti siitä että alueen pohjamaa on savensekaista hiekka maata.
(*) Wenner menetelmällä mitattujen syvyyksien keskiarvo			
(**) Käännepestemenetelmän käännekohta			

Taulukko 4 osoittaa, saman kuin kuviot, että mittausten suorittaminen pohjaveden suojausalueella ei onnistu. Mutta taulukon arvoja tarkasteltaessa nähdään, että myös onnistuneiden mittausten tuloksissa on suuri ero.

Tulokset osoittavat selvästi, että pohjaveden suojausalueella ei voida jälkikäteen tehdä maaperän resistiivisyys- tai maadoitusvastusmittauksia. Pohjaveden suojaus on se siten ohutmuovia tai bentoniittimatto toimii sähkön eristeenä. Tällöin maaperänresistiivisyysmittauksessa mittausvirta ei pääse kiertämään sen normaalia reittiä sekä eriste saattaa aiheuttaa samankaltaisia heijastuksia kuin maanpinta (ks. s. 5 ja 6). Sama ilmiö esiintyy myös maadoitusvastusmittauksessa. Lisäksi tässä on ongelmana se, että mitta-apuelektrodien ja mitattavan maadoituselektrodin välissä on eriste. Kun tulevaisuudessa rakennetaan kohteita, joihin asennetaan pohjavedensuojaus, olisi siten tärkeää mitata maaperän resistiivisyys tai ainakin elektrodien maadoitusvastukset juuri ennen pohjaveden suojauskerroksen asentamista.

Työn aikana minulle esitettiin myös rakennussuunnitelma kohteesta, jossa pohjaveden suojaus asennettaisiin niin syvälle, että valaistusverkon kaapelit ja näin ollen myös maadoitus elektrodit jäisivät pohjavedensuojauksen päälle. Tämän taustalla lienee yritys vähentää kohtia, joissa suojauskerros joudutaan rikkomaan, koska pohjavedensuojaurakenne on tiivistettävä kaikista kohdista, joissa se läpäistään. Perustuen työssä tehtyjen mittausten tuloksiin sekä omaan ymmärrykseeni asiasta en pidä tätä hyvänä ajatuksena maadoituksen ominaisuuksia ajatellen. En väitä, etteikö olisi mahdollista, että maadoitus toimii näinkin tehtynä. Kuitenkin perustaen siihen faktaan, että molemmat sekä ilma että pohjavedensuojaurakenne ovat eristäviä materiaaleja, jotka estävät virran normaalin leviämisen maaperään, näen, että tässä on huomattava mahdollisuus törmätä ongelmiin maadoituksen toiminnallisuuden suhteen. Ajatus on muuten hyvä, koska saadaan hie-  
man pienennettyä pohjaveden rakentamisen kustannuksia. Jos näin toimitaan, kehotan varmistumaan maadoituselektrodien toiminnasta rakennusaikana. Maadoitusten korjaus jälkeinpäin tulee kalliiksi, kun joudutaan tekemään kaivuut uusien elektrodien asentamiseksi.

## **5 Valaistusverkon suunnittelussa huomioitavia tekijöitä**

Vaikka tämä työ ei ole tarpeeksi kattava, jotta tämä voitaisiin kääntää suoraan uudeksi suunnitteluohjeksi tai edes lisäykseksi olemassa olevaan, nousi kuitenkin muutama mainitsemisen arvoinen asia esille. Nämä eivät ole suoranaisesti ohjeita, vaan enemmänkin huomioita, joita suunnittelijan kannattaa pohtia maadoituksia suunnitellessa.

Ensimmäisenä kannattaa miettiä, ovatko kohteen olosuhteet maadoituksen kannalta erityisen vaikeat. Esimerkiksi kallioinen ympäristö tai maadoituselektrodin sijainti tierakenteessa voivat aiheuttaa suuren maaperän ominaisresistanssin. Tällöin kannattaa miettiä, auttaako lisäelektrodien asennus, kannattaako käyttää viisijohdinjärjestelmää (TN-S) tai voidaanko elektrodi tai elektrodit, asentaa tarvittaessa muuhun suuntaan kuin kaapelilinjaan. Elektrodin asennusta muutoin kuin tiensuuntaisesti tehdessä on kuitenkin otettava huomioon tiealueenraja. Maa-alueet tiealueenrajan ulkopuolella ovat usein jonkun muun tahon kuin suunniteltavan tien omistajan omistuksessa, jolloin asennukset on tehtävä tiealueenrajojen puitteissa.

Kuten on edellä mainittu, pohjaveden suojausalueet vaativat erityistä huomiota maadoitussuunnittelussa. Vaikka Liikenneviraston Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen

suunnitteluohje ei vaadi maadoittamaan pitkiäkään linjoja muuten kuin alkupäästä ja loppupäästä tai enintään 200 metrin etäisyydellä loppupäästä, monesti tulee vastaan asennuksia, joissa on asennettu ”välimaadoituksia” parantamaan maadoitusimpedanssia ja samalla varaudutaan vikatilanteisiin, esim. PEN-johdinten katkeamiseen. Tämä on erittäin hyvä asia, mutta on tärkeää muistaa kiinnittää erityistä huomiota haarojen lopussa oleviin maadoituksiin. Pitkätkin ”sivuhaarat” maadoitetaan yleensä vain sen päästä. Tämän maadoituksen impedanssin on tällöin oltava riittävän pieni, jotta se tarjoaa vikavirralle pienimmän impedanssin reitin maahan.

Myös keskuksen maadoitus on tärkeä, koska keskuksella tehdään paljon töitä. Tärkeää on siis, että keskus ja kaikki sen osat sekä keskuksen välitön ympäristö ovat samassa potentiaalissa. Sähkönsyöttö kannattaa mahdollisuuksien mukaan suunnitella silmukkamaiseksi eli asentaa varayhteyskaapeleita eri ryhmien väliin. Tällöin on hyvä kytkeä varayhteyskaapelin PEN-johdin, jos sähkönsyöttö tulee samalta muuntamolta; tällöin yhdistetään maadoitusverkkoja toisiinsa.

Muutenkin on tärkeää pitää mielessä, että ohjeet ja standardit ovat apuvälineitä suunnitteluun, joiden avulla päästään helpommin maaliin, joka on sähköturvallisuuslain täyttäminen. Sähköturvallisuuslain kuudes pykälä ”Sähkölaitteita ja -laitteistoja koskevat yleiset vaatimukset” antaa määräykset sähkölaitteistolle, kuten tievalaistukselle:

”Sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksensa mukaisesti niin, että:

- 1) niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa;
- 2) niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä;
- 3) niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti.”

Jos sähkölaitte tai -laitteisto ei täytä edellä kuvattuja edellytyksiä, sitä ei saa saattaa markkinoille, luovuttaa toiselle eikä ottaa käyttöön. /10./



## 6 Yhteenveto

Ensimmäinen asia, joka mittauksista jäi mieleen on, että pohjavesisuojuksilla alueilla ei voida jälkikäteen mitata maadoitusvastuksen resistanssia luotettavasti. Tämä tarkoittaa siis tapauksia, joissa maadoituselektrodi on asennettu ohutmuovin tai bentoniittimaton alle, kuten yleensä on tehty.

Mittausten suorittamisen jälkeen sain eteeni myös suunnitelman, jossa pohjaveden suojauskerrokset asennetaan niin syväälle, että valaistuksen kaapelit ja näin ollen oletettavasti myös maadoituselektrodit asennetaan suojauskerroksen yläpuolelle. Tällaista kohdetta ei päästy mittaamaan, koska lainassa ollut mittauskalusto oli jo ehditty palauttamaan. Teoriaosuudessa esitetyn virran kääntymisen ja pelikuvaperiaatteen sekä pohjavesisuojausalueella tehtyjen mittausten tuloksien pohjalta näkisin, että idea asentaa maadoituselektrodeja sähköä eristävän pohjavesisuojauskerroksen päälle ei ole hyvä ajatus. Onnistuneiden mittausten tuloksista taas nähdään, että maadoitusresistanssiin vaikuttaa voimakkaasti pohjamaan ominaisresistanssi. Tästä voidaan päätellä, että maadoitusresistanssiin vaikuttaa melko suuri ala maata elektrodin ympärillä. Sähköä eristävä kerros vain kymmeniä senttejä maadoitusvastuksen alapuolella ja ilma yläpuolella rajoittavat sähkövirran johtumista maaperään, ja tämä saattaa aiheuttaa ongelmia vikatilanteissa. Kuten mainitsin, tähän ei päästy tässä työssä tarkemmin perehtymään, mutta edellä mainitusta syistä en itse suunnittelisi maadoituksia tällä tavalla, jollei sen toiminnallisuudesta ei ole jotenkin varmistuttu.

Muutenkin huomioiden pohjavedensuojausrakenteiden aiheuttamat hankaluudet maadoitusvastusmittauksissa pohjavedensuojausalueella suosittelisin kiinnittämään erityistä huomiota maadoitusten suunnitteluun tällaisissa kohteissa. Kun maakerrokset on rakennettu siihen pisteeseen, että pohjavedensuojaus kerroksen asennus olisi seuraava työvaihe, olisi hyvä tehdä maaperän resistiivisyys- ja maadoitusresistanssimittaukset maadoitusvastuksille. Tällöin mittaukset antaisivat oikean tuloksen, sillä mittaustilanteessa ilma toimii eristeinä yhtä etäällä elektrodista kuin lopullisessa asennuksessa pohjavedensuojauskerros. Samalla myös varmistuttaisiin maadoituselektrodien toiminnasta.

Tämän työn yhteydessä tehtyjen mittausten perusteella maaperän ominaisvastuksella on suuri vaikutus tievalaistusverkon maadoituksen maadoitusvastukseen. Myös elektrodin sijainti tieprofiiliin nähden vaikuttaa merkittävästi. Koska rakennusteknisistä syistä maadoituselektrodi on useimmiten asennettu pylväslinjan suuntaisesti, pylväiden sijainti

esimerkiksi reilusti kauempana tiestä vaikkapa viheralueella, on maadoitukselle huomattavasti edullisempi tilanne kuin sijainti tien luiskassa, jossa on mursketäyttö tai vastaava. Nämä seikat johtavat siihen päätelmään, että yksiselitteinen jokaiseen tilanteeseen pätevä ohje maadoituselektrodien asennuksesta tai suunnittelusta ei johda parhaaseen lopputulokseen. Tällöin ohje on tehtävä huonoimman tilanteen perusteella. Tämä tietenkin johtaa siihen, että maadoitukset ovat ylimitoitettuja kaikissa muissa paitsi huonoimmassa mahdollisessa tapauksessa. Näkisin, että mittauksia kannattaisi tehdä jatkossa huoltotoimien tai muun tilaisuuden tullen. Kun mittauksia on tarpeeksi laaja otanta, voitaisiin niiden tulosten pohjalta laatia tievalaistusverkon maadoittamiseen uusi ohje. Maadoitusten asennusvälit, elektrodin pituudet ja poikkipinta-alat voitaisiin määritellä pohjaan ja/ tai tieprofiilin poikkileikkauksen pohjalta, jolloin välttyttäisiin maadoitusten ylimitoitamiselta. Toisaalta taas varmistuttaisiin, että korkean ominaisresistanssin omaavassa ympäristössä ei ylitetä raja-arvoja esimerkiksi, kun asennetaan pohjaveden suojaus.

Ylijännitesuojaus ulkovalaistusverkoissa on sinällään hyvä, koska ohjeiden mukaan rakennettaessa muodostuu verkolle ja laitteille ylijännitesuojaus, joka toteutuu kaikissa tasoissa T1, T2 ja T3. Suurin ongelma tässä onkin se, että valaisimien ylijännitesuojan toimintakunnosta ei ole mitään indikaatiota ja näin ollen ei olla tietoisia, toimiiko ylijännitesuojaus vai ei. Ylijännitesuojan varustaminen etähälytyskoskettimella varmasti onnistuu valaisinvalmistajilta, jos tälle syntyy kysyntää. Isompia kysymyksiä on, halutaanko rakentaa kaapelointia pelkästään kosketintiedon tuomiseksi valaisimilta tai pylvältä keskukseen ja pystyykö nykyinen valaistuksen ohjausjärjestelmä välittämään tätä tietoa eteenpäin.

Ainakin alueille, joissa voidaan katsoa olevan normaalia suurempi vaara ylijännitteelle, kannattaisi periaatteessa harkita laitekohtaisen lisäsuojauksen asentamista. Tämä on helppo toteuttaa erillisellä pylvääseen asennettavalla ylijännitesuojalla. Pylväisiin asennettavia ylijännitesuojia on saatavilla myös indikoinnilla laitteen toimintatilasta, joka mahdollistaa ylijännitesuojien tilatiedon kokoamisen, jos tähän varaudutaan kaapeloinnissa. Kuitenkin tilatiedon siirtoa varten tarvittavan kaapeloinnin rakentaminen maksaa huomattavan summan, joten tämäkään tuskin tulee kysymykseen, jos kohteessa ei ole erityspiirteitä, kuten poikkeuksellisen usein ilmeneviä ylijännitteitä tai jos valaistuksen toimintakunnon säilyttämien on jostakin syystä poikkeuksellisen tärkeää.

Kuitenkaan kenelläkään tie- tai katuvalaistuksen haltijoista ei ole resursseja kiertää valvomassa ylijännitesuojien toimintatiloja maastossa. Aikanaan tulevaisuudessa älyvalaistuksen mukana tulee kaksisuuntainen tiedonsiirto, joka mahdollistamaan myös ylijännitesuojien toimintakuntotiedon kokoamisen valaistuksen käyttöliittymään. Vasta kun tekniikka on kehitetty asteelle, jolloin voidaan tarkastella ylijännitesuojien tilatietoja kootusti päätelaitteelta, tulee mahdolliseksi tehdä reaaliaikaisen tiedon pohjalta huolto- ja korjaustoimenpiteitä ylijännitesuojille. Vasta silloin on päästy tilanteeseen, jossa tiedetään suojauksen olevan toimintakuntoinen ja suojaavan verkkoa ylijännitteiltä.

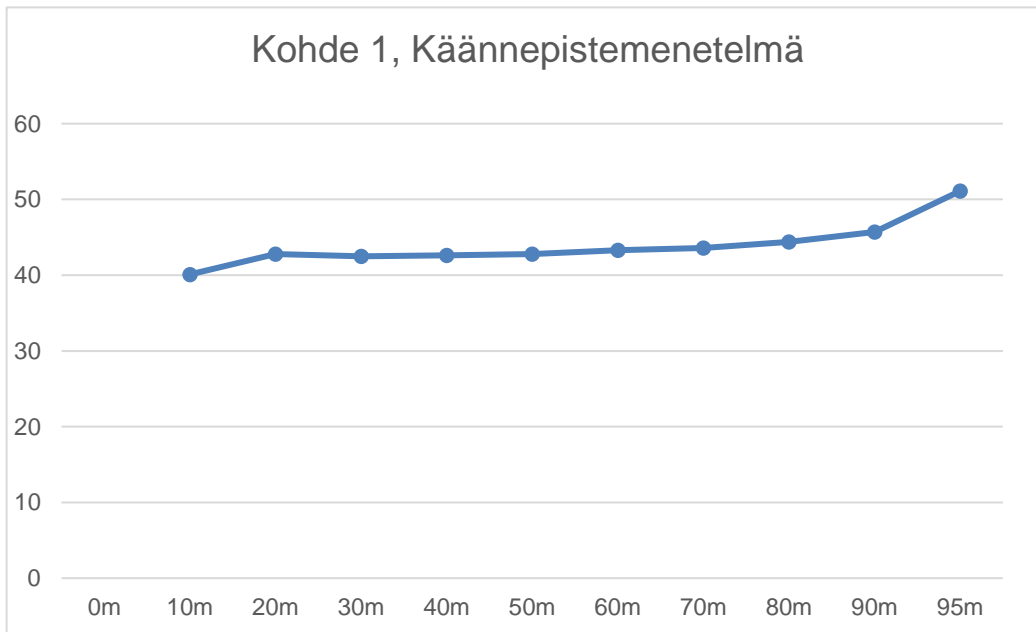
## Lähteet

- 1 Elovaara, J. & Haarla, L. 2011 Sähköverkot II Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki Otatieto Oy 2011.
- 2 SFS 6001 Suurjänniteasennukset Suomen Standardoimisliitto, 1999
- 3 J.Sivenius. Katurakenne Koulutusmateriaali TAMK maanrakennuskoulutus, 2016.
- 4 Sähköverkkojen maadoitusten suunnittelu, rakentaminen ja mittaaminen. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus, 1979.
- 5 Aro, M., Elovaara, J., Karttunen, M., Nousiainen, K., Palva, V. Suurjännitetekniikka 2. painos. Jyväskylä 2003 Oy Yliopistokustannus Otatieto.
- 6 Ylijännitesuojat OVR valintaopas. Vaasa ABB Oy 2006.
- 7 Suomen Ukkosilmasto. Verkkoaineisto. Ilmatieteenlaitoksen kotisivut <<http://ilmatieteenlaitos.fi/suomen-ukkosilmasto>> luettu 18.11.2017.
- 8 SFS 6001. Suurjänniteasennukset. 2015 4. painos. Helsinki, Suomen Standardoimisliitto.
- 9 IEC 60071-1:2006 Insulation co-ordination Part 1 Definitions, principles and rules International Standard.
- 10 1135 Sähköturvallisuuslaki, 2016. Verkkoaineisto <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>> Luettu 13.12.2017.
- 11 Liikenneviraston ohjeita 16/2015 Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu.
- 12 Chauvin Arnoux Maadoitusvastuksen mittausopas Maadoitusvastuksen sekä maaperän resistiivisyyden mittaus.
- 13 Chauvin Arnoux kotisivut. CA6471Verkkoaineisto <<http://www.chauvin-arnoux.com/en/produit/c-a-6471.html>> Luettu 5.2.2018.

Tilaaja						Touteutus					Opinnäytetyö					pvm
<b>Pirkanmaan ELY-keskus</b>						<b>LiCon-AT Oy</b>					<b>Mittauspöytäkirja</b>					13.9.2017
						Hämeenkatu 21-23, 05800 HYVINKÄÄ					<b>Tievalaistuksen maadoittaminen ja ylijännitesuojaus</b>					Piir. Nro <b>Liite 1</b>
						puh 044-755 1000										
						etunimi.sukunimi@licon-at.fi										
Tark.		pvm				Suun.	Jaa			13.9.2017						
Hyv.		pvm				Tark.	Msa			13.9.2017						

Kohde 1	28.8.2018															
	Maad.res. (Ω)	Resistiivisyys (ρ) (Ω/m)	Mittausvyvyys (m)	Etäisyys (m)	Lämpötila (°C)	Ilmankosteus (%)	Tierakenne									
Wenner 1	17,3	434	3	4	14	0,63	ei pohjavesi suojausta									
Wenner 2	25,1	474	2,25	3	14	0,63	ei pohjavesi suojausta									
Wenner 3	12,5	393	3,75	5	14	0,63	ei pohjavesi suojausta									

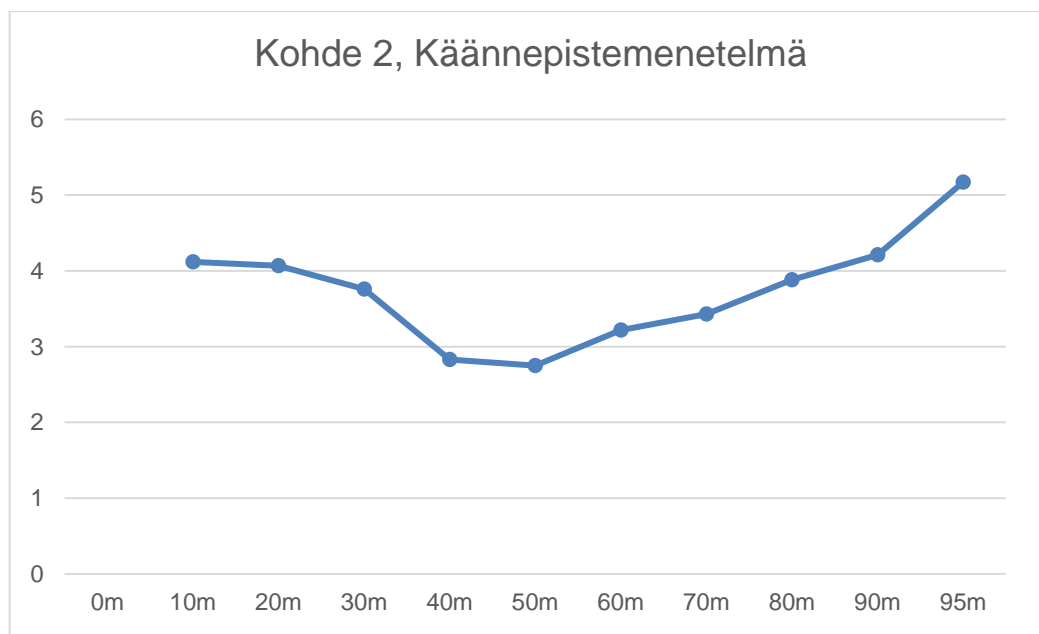
<b>Kohde 1</b>	Käänteispistemenetelmä					Elektrodi 1							
			0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	95m
	Re	( $\Omega$ )		40,1	42,8	42,5	42,6	42,8	43,3	43,6	44,4	45,7	51,1
	Rh	( $\Omega$ )		3580	3530	3530	3450	3530	3540	3450	3540	3540	3530
	Rs	( $\Omega$ )		1490	1580	1810	1900	846	2050	1840	2090	2080	1910



Tilaaja						Toutetus						Opinnäytetyö					pvm
<b>Pirkanmaan ELY-keskus</b>						<b>LiCon-AT Oy</b> Hämeenkatu 21-23, 05800 HYVINKÄÄ puh 044-755 1000 etunimi.sukunimi@licon-at.fi						<b>Mittauspöytäkirja</b>					
												Projektin nimi					
												<b>Tievalaistuksen maadoittaminen ja ylijännitesuojaus</b>					
Tark.		pvm				Suun.	Jaa			13.9.2017						Piir. Nro	
Hyv.		pvm				Tark.	Msa			13.9.2017						<b>Liite 1</b>	

Kohde 2	30.8.2017																
	Maad.res. (Ω)	Resistiivisyys (ρ) (Ω/m)	Mittausvyvyys (m)	Etäisyys (m)	Lämpötila (°C)	Ilmankosteus (%)	Tierakenne										
Wenner 1	18,7	353	2,25	3	18	84	ei pohjavesi suojausta										
Wenner 2	5,26	132	3	4	18	84	ei pohjavesi suojausta										
Wenner 3	2,3	72,3	3,75	5	18	84	ei pohjavesi suojausta										

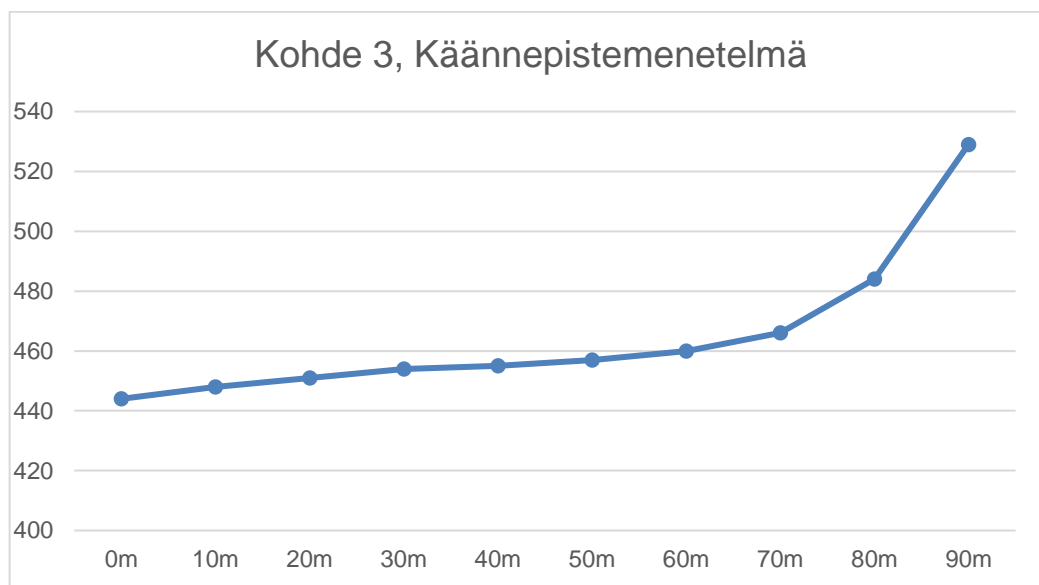
<b>Kohde 2</b>	Käänteispistemenetelmä						Elektrodi 1						
			0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	95m
	Re	( $\Omega$ )		4,12	4,07	3,76	2,83	2,75	3,22	3,43	3,88	4,21	5,17
	Rh	( $\Omega$ )		2440	2440	2450	2450	2450	2460	2460	2470	2470	2490
	Rs	( $\Omega$ )		1550	1410	4840	1580	1600	2680	6020	2640	3710	2650



Tilaaaja						Touteutus					Opinnäytetyö					pvm
<b>Pirkanmaan ELY-keskus</b>						<b>LiCon-AT Oy</b> Hämeenkatu 21-23, 05800 HYVINKÄÄ puh 044-755 1000 etunimi.sukunimi@licon-at.fi					<b>Mittauspöytäkirja</b>					13.9.2017
											Projektin nimi					Piir. Nro
											<b>Tievalaistuksen maadoittaminen ja ylijännitesuojaus</b>					<b>Liite 1</b>
Tark.		pvm				Suun.	Jaa			13.9.2017						
Hyv.		pvm				Tark.	Msa			13.9.2017						

Kohde 3	5.9.2017																
	Maad.res. (Ω)	Resistiivisyys (ρ) (Ω/m)	Mittausvyvyys (m)	Etäisyys (m)	Lämpötila (°C)	Ilmankosteus (%)	Tierakenne										
Wenner 1	174	3280	2,25	3	12	70	Uusi pohjavesi suojaus										
Wenner 2	120	3010	3	4	12	70	Uusi pohjavesi suojaus										
Wenner 3	76	2380	3,75	5	12	70	Uusi pohjavesi suojaus										

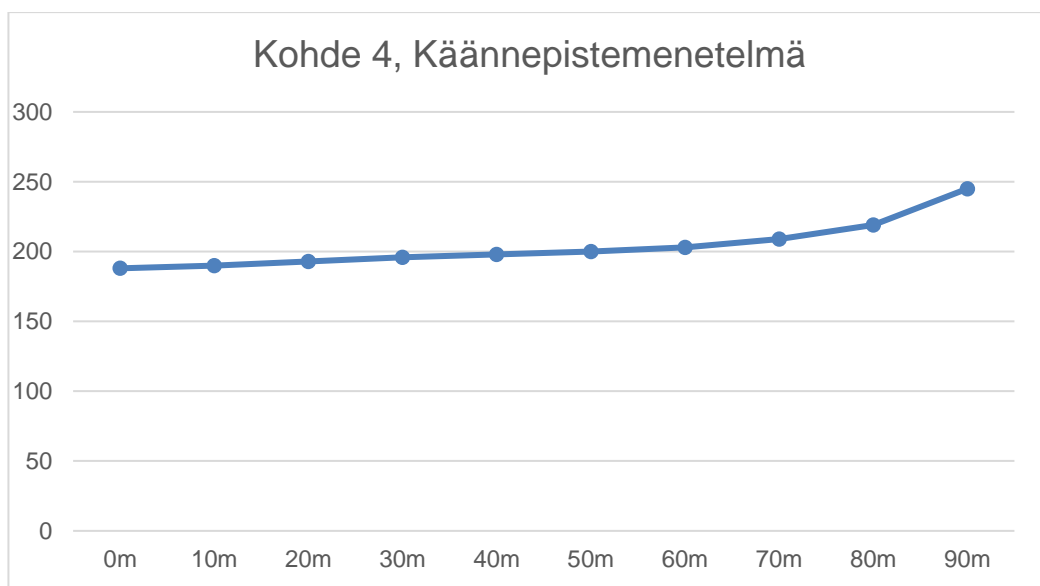
<b>Kohde 3</b>			käännepiste				Elektrodi 1						
			0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	95m
	Re	( $\Omega$ )		444	448	451	454	455	457	460	466	484	529
	Rh	( $\Omega$ )		1890	1890	1890	1880	1880	1880	1870	1870	1850	1800
	Rs	( $\Omega$ )		2090	3740	4320	2640	1320	2030	1980	2370	2620	1970



Tilaaaja						Toutetus						Opinnäytetyö					pvm
<b>Pirkanmaan ELY-keskus</b>					<b>LiCon-AT Oy</b> Hämeenkatu 21-23, 05800 HYVINKÄÄ puh 044-755 1000 etunimi.sukunimi@licon-at.fi					<b>Mittauspöytäkirja</b>					13.9.2017		
Tark.		pvm				Suun.	Jaa		13.9.2017	<b>Tievalaistuksen maadoittaminen ja ylijännitesuojaus</b>					Piir. Nro		
Hyv.		pvm				Tark.	Msa		13.9.2017						<b>Liite 1</b>		

Kohde 4	5.9.2017																
	Maad.res. (Ω)	Resistiivisyys (ρ) (Ω/m)	Mittaussyvyys (m)	Etäisyys (m)	Lämpötila (°C)	Ilmankosteus (%)	Tierakenne										
Wenner 1	71	1340	2,25	3	13	67	vanha pohjavesisuojaus										
Wenner 2	47.5	1190	3	4	13	67	vanha pohjavesisuojaus										
Wenner 3	35,5	1120	3,75	5	13	67	vanha pohjavesisuojaus										

<b>Kohde 4</b>	Käänteispistemenetelmä					Elektrodi 1							
			0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	95m
	Re	( $\Omega$ )		188	190	193	196	198	200	203	209	219	245
	Rh	( $\Omega$ )		1810	1810	1800	1800	1790	1790	1780	1780	1760	1730
	Rs	( $\Omega$ )		1270	1380	1760	1920	852	1710	1960	2300	2100	1820

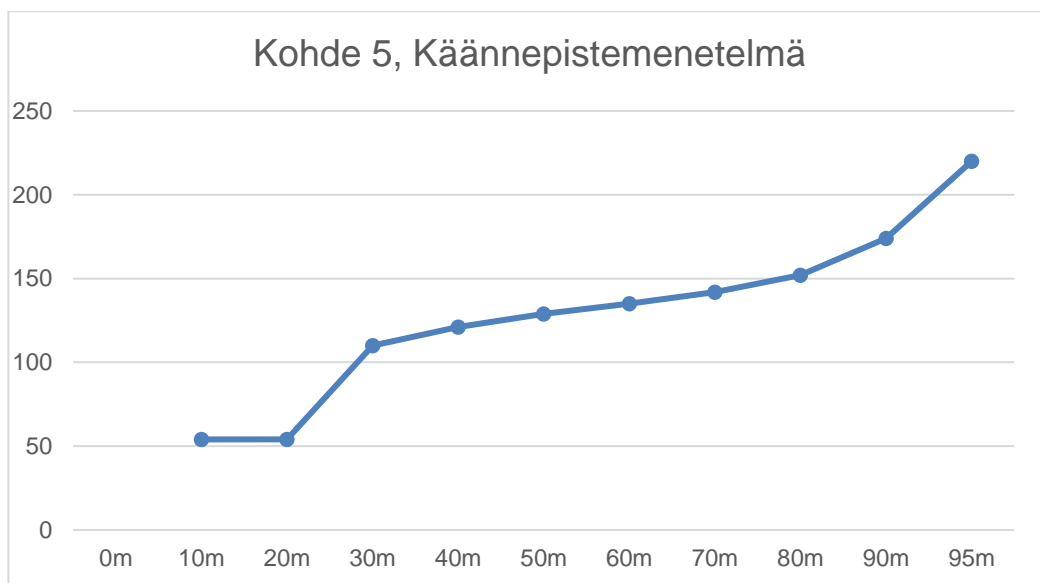




Tilaaja						Toutetus						Opinnäytetyö					pvm
<b>Pirkanmaan ELY-keskus</b>						<b>LiCon-AT Oy</b>						<b>Mittauspöytäkirja</b>					
						Hämeenkatu 21-23, 05800 HYVINKÄÄ											
						puh 044-755 1000						Projektin nimi					
						etunimi.sukunimi@licon-at.fi						<b>Tievalaistuksen maadoittaminen ja</b>					
Tark.		pvm				Suun.	Jaa		13.9.2017			<b>yliljännitesuojaus</b>					
Hyv.		pvm				Tark.	Msa		13.9.2017								

Kohde 5	6.9.2017																
	Maad.res. (Ω)	Resistiivisyys (ρ) (Ω/m)	Mittausvyvyys (m)	Etäisyys (m)	Lämpötila (°C)	Ilmankosteus (%)	Tierakenne										
Wenner 1	116	2190	2,25	3	11	60	Uusi pohjavesi suojaus										
Wenner 2	84	2110	3	4	11	60	Uusi pohjavesi suojaus										
Wenner 3	68	2140	3,75	5	11	60	Uusi pohjavesi suojaus										

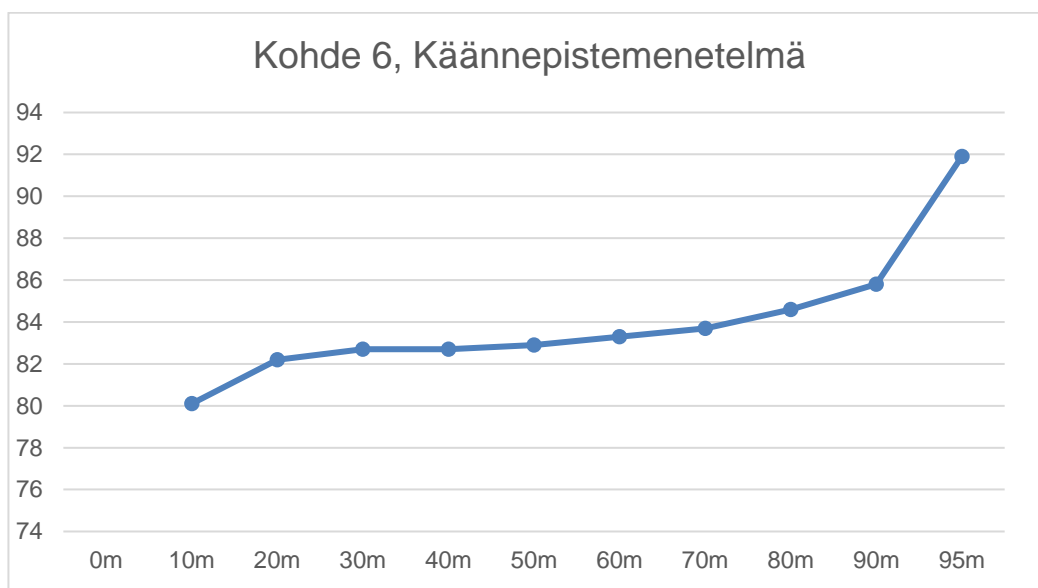
<b>Kohde 5</b>	Käänteispistemenetelmä					Elektrodi 1							
			0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	95m
	Re	( $\Omega$ )		54	54,1	110	121	129	135	142	152	174	220
	Rh	( $\Omega$ )		14700	14900	14800	14500	14500	14400	14500	14300	14900	14900
	Rs	( $\Omega$ )		10200	10200	12400	12800	10100	11200	10800	8310	8840	6690



Tilaaja						Touteutus						Opinnäytetyö					pvm	
<b>Pirkanmaan ELY-keskus</b>						<b>LiCon-AT Oy</b> Hämeenkatu 21-23, 05800 HYVINKÄÄ puh 044-755 1000 etunimi.sukunimi@licon-at.fi						<b>Mittauspöytäkirja</b>						13.9.2017
Tark.		pvm				Suun.	Jaa			13.9.2017	<b>Tievalaistuksen maadoittaminen ja ylijännitesuojaus</b>						Piir. Nro	
Hyv.		pvm				Tark.	Msa			13.9.2017							<b>Liite 1</b>	

Kohde 6	6.9.2017																	
	Maad.res. (Ω)	Resistiivisyys (ρ) (Ω/m)	Mittausvyvyys (m)	Etäisyys (m)	Lämpötila (°C)	Ilmankosteus (%)	Tierakenne											
Wenner 1	39,8	750	2,25	3	14	61	ei pohjavesi suojausta											
Wenner 2	24,7	622	3	4	14	61	ei pohjavesi suojausta											
Wenner 3	15,2	476	3,75	5	14	61	ei pohjavesi suojausta											

<b>Kohde 6</b>	Käänteispistemenetelmä					Elektrodi 1							
			0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	95m
	Re	( $\Omega$ )		80,1	82,2	82,7	82,7	82,9	83,3	83,7	84,6	85,8	91,9
	Rh	( $\Omega$ )		3590	3550	3480	3450	3540	3510	3470	3530	3520	3510
	Rs	( $\Omega$ )		1470	1580	1670	1810	1980	2060	2060	2110	2180	2220



Tilaaja						Touteutus						Opinnäytetyö					pvm	
<b>Pirkanmaan ELY-keskus</b>						<b>LiCon-AT Oy</b> Hämeenkatu 21-23, 05800 HYVINKÄÄ puh 044-755 1000 etunimi.sukunimi@licon-at.fi						<b>Mittauspöytäkirja</b>						13.9.2017
												Projektin nimi						Piir. Nro
												<b>Tievalaistuksen maadoittaminen ja ylijännitesuojaus</b>						<b>Liite 1</b>
Tark.		pvm				Suun.	Jaa			13.9.2017								
Hyv.		pvm				Tark.	Msa			13.9.2017								

Kohde 7	13.9.2017																
	Maad.res. (Ω)	Resistiivisyys (ρ) (Ω/m)	Mittaussyvyys (m)	Etäisyys (m)	Lämpötila (°C)	Ilmankosteus (%)	Tierakenne										
Wenner 1	16,9	319	2,25	3	17	69	ei pohjavesi suojausta										
Wenner 2	16,5	415	3	4	17	69	ei pohjavesi suojausta										
Wenner 3	13,5	424	3,75	5	17	69	ei pohjavesi suojausta										

<b>Kohde 7</b>	Käänteispistemenetelmä					Elektrodi 1							
			0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	95m
	Re	( $\Omega$ )		18,6	24,8	25,4	25,8	27,4	29,5	36,2	44,7		
	Rh	( $\Omega$ )		7190	7160	7160	7150	7120	7080	7080	7050		
	Rs	( $\Omega$ )		4460	4480	4500	4550	4590	737	728	745		

